



TUGAS AKHIR - MN091382

**ANALISIS CFD HAMBATAN VISKOS KATAMARAN TAK
SEJAJAR (*STAGGERED*) DENGAN VARIASI
PENEMPATAN POSISI DEMIHULL SECARA
MEMANJANG DAN MELINTANG**

DODDY HERMANTO

N.R.P. 4106 100 006

Dosen Pembimbing

Prof. Ir.I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc, Ph.D

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2014



FINAL PROJECT - MN091382

CFD ANALYSIS OF THE VISCOUS RESISTANCE OF A STAGGERED DEMIHULLS CATAMARAN

DODDY HERMANTO

N.R.P. 4106 100 006

Supervisor

Prof. Ir.I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc, Ph.D

Departement of Naval Architecture & Shipbuilding Engineering

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2014

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS CFD HAMBATAN VISKOS KATAMARAN TAK SEJAJAR (*STAGGERED*) DENGAN VARIASI PENEMPATAN POSISI DEMIHULL SECARA MEMANJANG DAN MELINTANG

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi Rekayasa Kapal

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DODDY HERMANTO

N.R.P. 4106 100 006

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Prof. Ir.I.K.A.P. Utama, M.Sc, Ph.D



SURABAYA, JULI 2014

ABSTRAK

ANALISIS CFD HAMBATAN VISKOS KATAMARAN TAK SEJAJAR (*STAGGERED*) DENGAN VARIASI PENEMPATAN POSISI DEMIHULL SECARA MEMANJANG DAN MELINTANG

Nama Penulis : Doddy Hermanto
NRP : 4106 100 006
Jurusan : Teknik Perkapalan ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir.I.K.A.P. Utama, M.Sc, Ph.D

Banyak keuntungan dan kelebihan yang didapat dari desain kapal katamaran. Beberapa keuntungan yang bisa didapat dari desain ini adalah tersedianya luas permukaan geladak kapal yang luas, nilai stabilitasnya yang lebih baik dan memiliki tingkat keselamatan yang lebih tinggi. Untuk konsumsi bahan bakar mampu dikurangi secara signifikan daripada kapal monohull. Kemudian hambatan yang dihasilkan dari desain katamaran ini relatif lebih kecil, dari kapal monohull untuk displasemen yang sama. Beberapa waktu terakhir ini ini desain kapal katamaran dengan desain yang agak "nyeleneh" pun jadi object penelitian. Desain demihull katamaran yang umumnya sejajar, kini dirubah posisinya menjadi tak sejajar. Tugas akhir ini khususnya bertujuan untuk mengetahui pengaruh hambatan katamaran tak sejajar pada berbagai variasi posisi demihull. Desain lambung katamaran menggunakan desain yang sama dengan model kapal pada pengujian Towing Tank-LHI (Laboratorium Hidrodinamika Indonesia). Variasi posisi lambung katamaran dilakukan secara melintang dan memanjang. Pada variasi posisi melintang diberikan jarak pemisah lambung (demihull) yaitu $S/L = 0.2$ dan 0.4 . Kemudian pada variasi posisi memanjangnya yaitu $R/L = 0.2$ dan 0.4 . Analisa perhitungan hambatan dan pengaruh interferensi antara kedua lambung menggunakan software ANSYS-CFD pada berbagai kecepatan dengan variasi angka Froude yaitu $Fn = 0.2: 0.28: 0.37: 0.46: 0.56$ dan 0.65 . Hasil analisa menggunakan ANSYS-CFD kemudian dilakukan perbandingan dengan hasil pengujian katamaran asimetris pada Towing Tank-LHI di ITS.

Kata Kunci: hambatan, katamaran tak sejajar, jarak pemisah lambung, CFD, Ansys.

ABSTRACT

CFD ANALYSIS OF THE VISCOUS RESISTANCE OF A STAGGERED DEMIHULLS CATAMARAN

Author Name : Doddy Hermanto
NRP : 4106 100 006
Department : Naval Architecture of ITS
Supervisor : Prof. Ir.I.K.A.P. Utama, M.Sc, Ph.D

There are some advantages can be obtained by the design of catamaran boat. Particularly, the available of larger main deck, a good level of stability and have a better survival rate. In addition, the fuel consumptions and resistance can be reduced significantly compare a monohull vessel at the same level of displacement value. Nowadays, there are many various design of catamaran have developed to obtain the best optimization for lower resistance and higher speed. One of the various design of catamaran could be investigated is staggered catamaran which demihull position are not parallel like common catamaran. This thesis concerned to investigation viscous resistance and the resulting viscous interference between the two hulls of ships. Staggered catamaran hull design using a design similar to the model testing of ships on Towing Tank-IHL (Indonesian Hydrodynamics Laboratory). This design process are given by varying the transvers distance at $S/L = 0.2$ and 0.4 . and by the longitudinal distance at $R/L = 0.2$ and 0.4 and then Analysis of constraints and calculation of interference effects between the two hull using ANSYS-CFD at various speeds with the variation of the Froude number $Fn = 0.19$: 0.28 : 0.37 : 0.46 : 0.56 and 0.65 . The results of CFD analysis using ANSYS-CFX, then do the comparison and validation with test results on the staggered catamaran Towing Tank-IHL ITS.

Keywords: resistance, staggered catamaran, hull separation distance, CFD, Ansys.

KATA PENGANTAR

Pertama, penulis menyampaikan puji dan syukur kepada Allah SWT atas berkat, rahmat, ilham dan hidayah dari-Nya Tugas Akhir dengan judul “Analisis Hambatan Katamaran Tak Sejajar (*Staggered*) Dengan Variasi Penempatan Posisi Demihull Secara Memanjang dan Melintang Menggunakan Bantuan Software CFD” ini dapat diselesaikan. Tanpa pertolongan-Nya dan bimbingan-Nya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Yang kedua, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Keluarga di rumah, terutama kedua orang tua dan adik perempuan satu-satunya yang tak pernah bosan untuk selalu memberikan dukungannya sampai kapan pun
2. Bapak Prof. Ir. I Ketut Aria Pria Utama, M.Sc. Ph.D selaku dosen pembimbing dan juga selaku Ketua Jurusan Teknik Perkapalan – FTK – ITS yang telah memberikan segala bimbingan ilmu, waktu, dan kesabaran dalam mengarahkan dan memberi nasehat kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dony Setyawan, ST. M,Eng. selaku dosen wali yang tak pernah bosan menasehati selama penulis menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Perkapalan - FTK – ITS.
4. Seluruh staf dosen, karyawan dan karyawan/i Jurusan Teknik Perkapalan atas bantuannya baik secara langsung maupun tidak langsung
5. Bapak Andi Jamaluddin dan staff Lab. Hidrodinamika Kapal Jurusan Teknik Perkapalan ITS yang banyak membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
6. Sutiyo Ahad, yang dengan sabar mau menjadi privat tutor program ANSYS CFD, yang penulis benar-benar "buta" dengan program yang satu ini.
7. Seluruh mahasiswa angkatan 2006 Jurusan Teknik Perkapalan ITS, serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyelesaian Tugas Akhir, yang tidak dapat disebutkan satu persatu dalam laporan ini

Dan yang terakhir, penulis sangat berharap adanya masukan dan saran positif yang membangun dari semua pihak guna kesempurnaan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Semoga tulisan ini sedikit banyak bisa berkontribusi khususnya dibidang ilmu perkapalan ini.

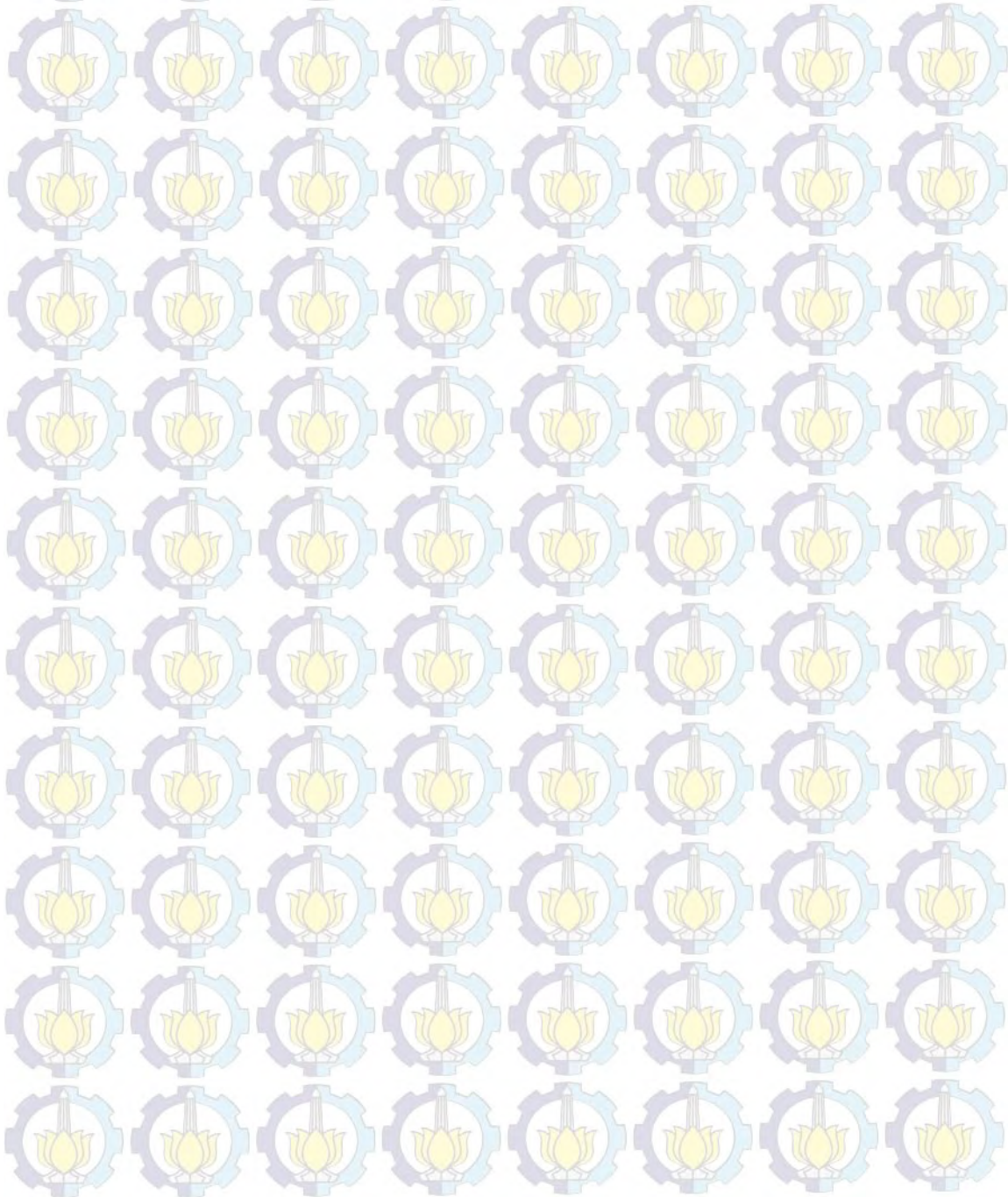
Surabaya, Juli 2014

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR REVISI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
Bab 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan	4
1.5. Manfaat.....	4
1.6. Hipotesis	4
1.7. Metodologi Penelitian.....	5
1.8. Sistematika Penulisan	5
Bab 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Kapal Katamaran	7
2.2. Desain Lambung Katamaran	8
2.2.1. Katamaran Lambung Simetris (<i>Symmetric</i>)	9
2.2.2. Katamaran Lambung Tak Simetris (<i>Asymmetric</i>).....	9
2.2.3. Katamaran Lambung Tak Sejajar (<i>Staggered</i>).....	10
2.3. Komponen Hambatan Kapal.....	12
2.3.1. Hambatan gesek (<i>friction resistance</i>) (C_F).....	13

2.3.2. Hambatan bentuk (<i>form resistance</i>) (C_{FO})	13
2.3.3. Hambatan Gelombang (<i>wave resistance</i>) (C_W).....	14
2.4. Hambatan Katamaran.....	15
2.4.1. Interferensi badan kapal (<i>Body Interfrence</i>).....	16
2.4.2. Interferensi Gelombang (<i>Wave Interference</i>).....	16
Bab 3. METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1. Studi Literatur	19
3.2. Pengumpulan Data.....	19
3.3. Pembuatan Geometri Model	19
3.4. Pemilihan Jumlah Grid (Meshing).....	20
3.5. Solver	20
3.6. Analisa Hasil.....	21
3.7. Validasi Data.....	22
Bab 4. PEMODELAN SIMULASI CFD	25
4.1. Konsep Computational Fluid Dynamics.....	25
4.2. Persamaan Dasar Dinamika Fluida dalam CFD	25
4.3. CFD-Ansys CFX.....	27
4.4. Model Kapal	28
4.5. Boundary Condition.....	30
4.6. Konvergensi.....	32
4.7. Grid Generation	33
4.8. Verifikasi Hasil CFD	35
Bab 5. DATA HASIL SIMULASI.....	37
5.1. Data Hasil Simulasi	37
Bab 6. ANALISA DAN PEMBAHASAN	45
6.1. Analisa Hambatan Viskos Katamaran Tak Sejajar	45
6.2. Analisa Form Factor Demihull dengan Katamaran Tak Sejajar.....	47

6.3. Perbandingan CFD dan Eksperimen Hambatan Katamaran Tak Sejajar.....	49
6.4. Interferensi Hambatan Viskos	57
Bab 7. KESIMPULAN DAN SARAN.....	63
7.1. Umum	63
7.2. Saran	64
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN	67



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Konfigurasi katamaran lambung sejajar	2
Gambar 1.2 Konfigurasi baru katamaran tak sejajar (<i>staggered catamaran</i>)	2
Gambar 2.1. Tipe bentuk lambung katamaran simetris (Insel & Molland, 1990).....	9
Gambar 2.2. Tipe bentuk lambung katamaran asimetris (Insel & Molland, 1990).....	9
Gambar 2.3. Model katamaran lambung tak sejajar (Sahoo, 2006)	10
Gambar 3.1. Langkah-langkah untuk mendapatkan hambatan pada program ansys cfx	20
Gambar 4.1 Model-model aliran (a & b) pendekatan control volume hingga, (c & d) model-model pendekatan elemen fluida tak hingga (Anderson, 1995).....	26
Gambar 4.2 Pemodelan tanpa free surface.	28
Gambar 4.3. Tampak atas domain untuk pemodelan tanpa <i>free surface</i>	29
Gambar 4.4. Tampak samping domain untuk pemodelan tanpa <i>free surface</i>	30
Gambar 4.5. Kondisi batas untuk inlet tanpa <i>free surface</i>	30
Gambar 6.1 Grafik Konvergensi	33
Gambar 6.2 Grafik <i>Grid Independence</i>	34
Gambar 5.1. Konfigurasi katamaran tak sejajar	38
Gambar 6.1. Hambatan Viskos Lambung Katamaran Tak Sejajar dengan $S/L=0.2$ dan variasi R/L	45
Gambar 6.2. Hambatan Viskos Katamaran Tak Sejajar dengan $S/L= 0.4$ dan variasi R/L . 46	
Gambar 6.3. Perbandingan <i>Form Factor</i> Demihull dan Katamaran Tak Sejajar dengan $S/L=0.2$ dan variasi R/L	48
Gambar 6.4. Perbandingan <i>Form Factor</i> Demihull dan Katamaran Tak Sejajar dengan $S/L=0.4$ dan variasi R/L	49
Gambar 6.5. Perbandingan CFD dan Eksperimen Hambatan Viskos antara Demihull dan Katamaran Tak Sejajar.	51

Gambar 6.6. Perbandingan CFD dan Experiment Hambatan Viskos Katamaran tak sejajar pada $S/L = 0.2$ dan $R/L=0.2$	52
Gambar 6.7. Perbandingan CFD dan Experiment Hambatan Viskos Katamaran tak sejajar pada $S/L = 0.2$ dan $R/L=0.3$	53
Gambar 6.8. Perbandingan CFD dan Experiment Hambatan Viskos Katamaran tak sejajar pada $S/L = 0.2$ dan $R/L= 0.4$	54
Gambar 6.9. Perbandingan CFD dan Experiment Hambatan Viskos Katamaran tak sejajar pada $S/L = 0.4$ dan $R/L=0.2$	55
Gambar 6.10. Perbandingan CFD dan Experiment Hambatan Viskos Katamaran tak sejajar pada $S/L = 0.4$ dan $R/L=0.3$	56
Gambar 6.11. Perbandingan CFD dan Experiment Hambatan Viskos Katamaran tak sejajar pada $S/L = 0.4$ dan $R/L=0.4$	57
Gambar 6.12. Perbandingan faktor interferensi exp dan CFD untuk $S/L= 0.2$ dan $R/L= 0.2$	60
Gambar 6.13. Perbandingan faktor interferensi exp dan CFD untuk $S/L= 0.4$ dan $R/L= 0.4$	60
Gambar 6.14. Visualisasi perubahan kecepatan aliran	61
Gambar 6.15. Visualisasi perubahan tekanan.....	61

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Grid Independence.....	34
Tabel 5.1. Data Hidrostatik Demihull dan Katamaran Tak Sejajar.....	37
Tabel 5.2. Data variasi kecepatan kapal.	38
Tabel 5.3. Data hambatan viskos demihull.....	39
Tabel 5.4. Data hambatan viskos katamaran tak sejajar $S/L = 0.2$ $R/L = 0.2$	39
Tabel 5.5. Data hambatan viskos katamaran tak sejajar $S/L = 0.2$ $R/L = 0.3$	39
Tabel 5.6. Data hambatan viskos katamaran tak sejajar $S/L = 0.2$ $R/L = 0.4$	40
Tabel 5.7. Data hambatan viskos katamaran tak sejajar $S/L = 0.4$ $R/L = 0.2$	40
Tabel 5.8. Data hambatan viskos katamaran tak sejajar $S/L = 0.4$ $R/L = 0.3$	40
Tabel 5.9. Data hambatan viskos katamaran tak sejajar $S/L = 0.4$ $R/L = 0.4$	41
Tabel 5.10. Hasil Eksperimen Viscous Form Factor (Towing Tank)	42
Tabel 5.11. Data Koefisien Hambatan Demihull	42
Tabel 5.12. Data Koefisien Hambatan Katamaran Tak Sejajar $S/L = 0.2$ $R/L=0.2$	43
Tabel 5.13. Data Koefisien Hambatan Katamaran Tak Sejajar $S/L = 0.2$ $R/L=0.3$	43
Tabel 5.14. Data Koefisien Hambatan Katamaran Tak Sejajar $S/L = 0.2$ $R/L=0.4$	43
Tabel 5.15. Data Koefisien Hambatan Katamaran Tak Sejajar $S/L = 0.4$ $R/L=0.2$	44
Tabel 5.16. Data Koefisien Hambatan Katamaran Tak Sejajar $S/L = 0.4$ $R/L=0.3$	44
Tabel 5.17. Data Koefisien Hambatan Katamaran Tak Sejajar $S/L = 0.4$ $R/L=0.4$	44
Tabel 6.1. Perbedaan Prosentase Form Factor Demihull dan Katamaran tak sejajar $S/L=0.2$ dengan variasi R/L	47
Tabel 6.2. Perbedaan Prosentase Form Factor Demihull dan Katamaran tak sejajar..... $S/L= 0.4$ dengan variasi R/L	47
Tabel 6.3. Data ukuran model tangki percobaan dan CFD	49
Tabel 6.4. Faktor Interferensi Viskos Katamaran Tak Sejajar dari Eksperimen di Towing Tank $S/L= 0.2$	58

Tabel 6.5. Faktor Interferensi Viskos Katamaran Tak Sejajar dari Eksperimen di Towing

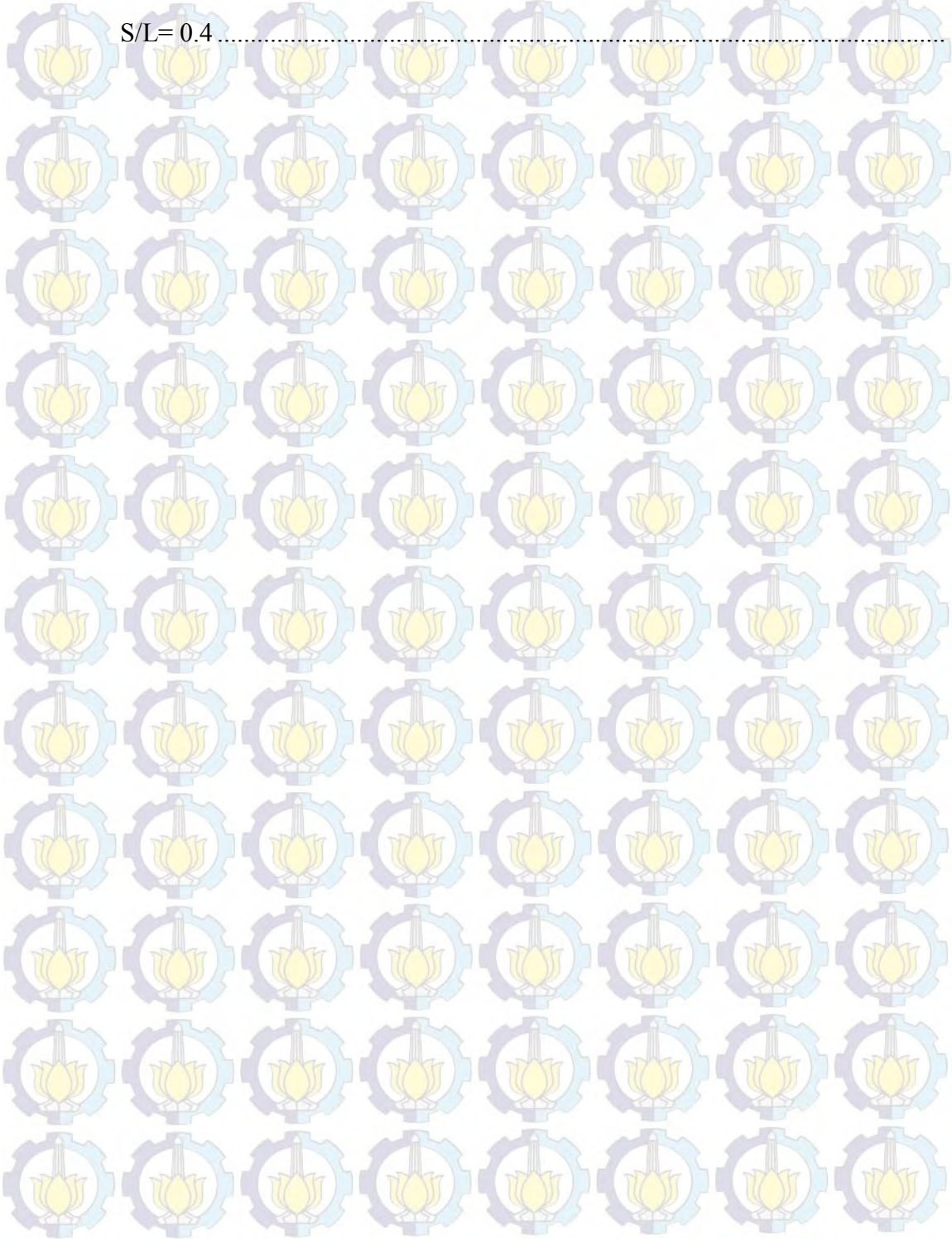
Tank Untuk $S/L=0.4$	58
----------------------------	----

Tabel 6.6. Faktor Interferensi Viskos Katamaran Tak Sejajar dari Simulasi CFD Untuk

$S/L=0.2$	59
-----------------	----

Tabel 6.7. Faktor Interferensi Viskos Katamaran Tak Sejajar Simulasi CFD Untuk

$S/L=0.4$	59
-----------------	----



Bab 1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan kapal katamaran sebagai alternatif baru dalam memberikan solusi yang efisien dalam banyak bidang dengan berbagai kelebihan yang dapat diberikan. Kelebihan yang diberikan adalah tersedianya luas permukaan geladak kapal yang luas, tingkat stabilitas yang bagus dan memiliki tingkat keselamatan yang lebih baik (Dubrovsky & Lyakhovitsky, 2001). Semakin luasnya permukaan geladak yang tersedia memberikan keuntungan lebih dalam hal penggunaannya seperti untuk kebutuhan akomodasi. Faktor kenyamanan penumpang menjadi hal yang harus diutamakan sehingga stabilitas yang bagus akan memberikan nilai tambah bagi kapal.

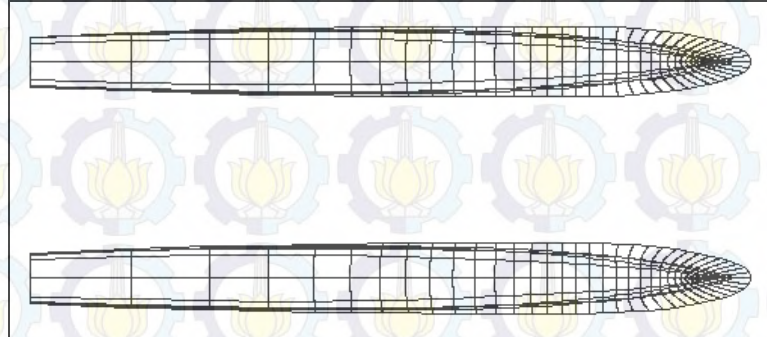
Kecepatan kapal juga menjadi faktor penting dalam desain kapal. Mengurangi besarnya hambatan badan kapal merupakan salah satu jalan untuk mendapatkan kecepatan kapal yang optimum. Semakin kecil hambatan badan kapal maka semakin kecil gaya yang menghambat laju kapal. Kapal katamaran cenderung memiliki sarat yang lebih pendek dari pada kapal monohull. Hal ini disebabkan oleh sedikitnya badan kapal yang tercelup kedalam air membuat kapal katamaran memiliki hambatan yang semakin kecil. Kapal katamaran memberikan kelebihan hambatan yang lebih kecil dengan pengurangan hambatan sebesar 20 % dari kapal monohull dengan displasemen yang sama.

Semakin rendah nilai hambatan kapal katamaran akan berdampak pada besarnya penggunaan bahan bakar yang akan digunakan. Kapal katamaran memiliki keuntungan lain dalam hal penggunaan bahan bakar yaitu mampu mengurangi penggunaan bahan bakar sebesar 20 % dari pada kapal monohull.

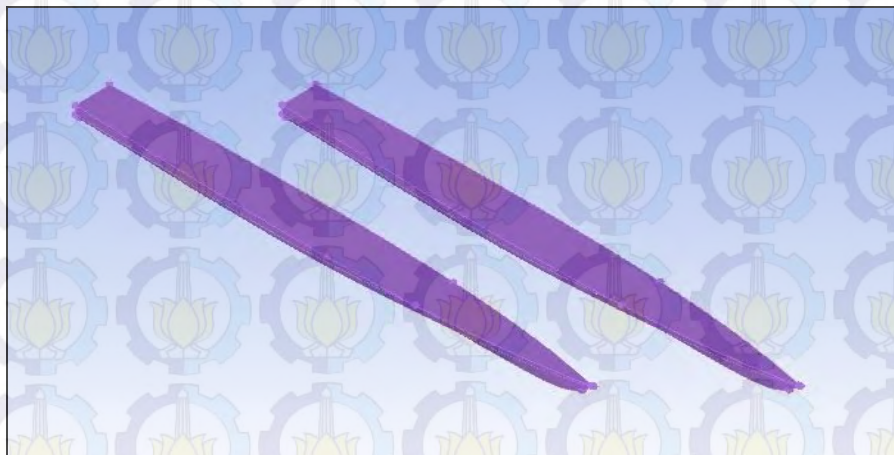
Permintaan pasar untuk kapal katamaran dari berbagai tipe dan dimensi serta didesain untuk hambatan yang kecil dan kecepatan tinggi membuat optimasi dari hambatan lambung kapal demikian penting untuk memenuhi semua itu (Moraes, Vasconcellos & Latorre, 2004). Hal ini membuat hambatan menjadi salah satu komponen terpenting yang harus diperhatikan untuk mendapatkan bentuk badan kapal yang optimal.

Pengembangan konfigurasi baru seperti katamaran lambung tak sejajar (*Staggered Catamaran*) diharapkan menghasilkan hambatan yang lebih kecil. Konfigurasi diantara

lambung katamaran tak sejajar akan menghasilkan interferensi gelombang yang rendah jika dibandingkan dengan lambung katamaran sejajar



Gambar 1.1 Konfigurasi katamaran lambung sejajar.



Gambar 1.2 Konfigurasi baru katamaran tak sejajar (*staggered catamaran*).

Rendahnya tingkat interferensi ini berpengaruh terhadap kecepatan kapal yang dihasilkan. Semakin rendah tingkat interferensi antar lambung kapal yang dihasilkan maka akan membuat kapal memiliki *wave-making resistance* yang semakin rendah sehingga dapat meningkatkan kecepatan kapal.

Perhitungan besarnya hambatan kapal katamaran tak sejajar dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu analitis teoritis, numerik, empirik dan ekperimental. Pada cara

analitis teoritis dikembangkan persamaan matematis untuk geometri kapal tertentu sehingga hal ini memerlukan waktu yang sangat lama.

Salah satu cara dengan memanfaatkan perkembangan teknologi adalah perhitungan numerik dengan menggunakan apa yang disebut *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang memanfaatkan perkembangan teknologi berkecepatan tinggi. Teknik CFD memungkinkan penyelidikan sebuah model dengan ketelitian yang sangat tinggi tetapi dengan konsekuensi memerlukan kapasitas memori komputer yang tinggi (Versteeg dan Malalasekera, 1995).

Penelitian mengenai hambatan katamaran tak sejajar (*staggered catamaran*), pola aliran (tekanan dan kecepatan aliran) dan pengaruh interferensi antar lambung kapal dilakukan pada desain lambung kapal dilakukan dengan menggunakan analisa komputasi numerik dengan bantuan *software* CFD-Ansys CFX. Hasil analisa menggunakan CFD-Ansys CFX kemudian dilakukan perbandingan dengan hasil pengujian katamaran tak sejajar oleh Jammaluddin, Utama dan Molland (2010) pada *Towing Tank*-LHI sebagai validasi dari hasil percobaan.

1.2. Perumusan Masalah

Adapun perumusan masalah yang akan dikaji dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi konfigurasi demihull secara melintang (S/L) dan memanjang (R/L) terhadap hambatan viscous katamaran tak sejajar ?
2. Berapa besar prosentase perbandingan antara hasil pengujian CFD-Ansys CFX dengan pengujian pada *Towing Tank*?

1.3. Batasan Masalah

Batasan-batasan yang perlu dilakukan untuk memfokuskan pembahasan sehingga permasalahan tidak melebar dan untuk memperoleh hasil akhir yang sesuai dengan tujuan yang hendak dicapai. Berikut ini merupakan beberapa pokok bahasan yang akan dikaji, antara lain:

1. Model kapal katamaran yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah model kapal ikan penelitian yang dilakukan oleh Utama (2009)

2. Lambung kapal menggunakan menggunakan lambung simetris
3. Penelitian hanya sebatas teoritis, yaitu semua perhitungan dilakukan dengan menggunakan bantuan software CFD-Ansys CFX.
4. Analisa yang di kaji adalah hambatan viscous
5. Variasi penempatan posisi demihull secara memanjang (R/L) adalah 0.2 dan 0.4
6. Variasi penempatan posisi demihull secara melintang adalah (S/L) adalah 0.2 dan 0.4
7. Variasi kecepatan yang digunakan adalah $Fr = 0.19 - 0.65$

1.4. Tujuan

Tujuan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh posisi penempatan demihull tidak sejajar (staggered) secara memanjang dan melintang terhadap komponen hambatan viscous kapal katamaran.
2. Mengetahui keakurasian simulasi hasil CFD dan komparasi hasil pengujian di towing tank.

1.5. Manfaat

Adapun manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh bentuk lambung kapal katamaran tak sejajar terhadap hambatan viskosnya.
2. Sebagai database untuk pihak-pihak yang tertarik untuk mengembangkan kapal katamaran.

1.6. Hipotesis

Hipotesa penulis adalah variasi jarak demihull secara melintang (S/L) dan memanjang (R/L) dan juga *Froude number* akan mempengaruhi nilai hambatan viskos yang dihasilkan

1.7. Metodologi Penelitian

Metode dan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan geometri model kapal berdasarkan ukuran data kapal yang sudah ada. Hal ini dimaksudkan agar dapat dilakukan perbandingan hasil yang didapat dengan penelitian telah dilakukan oleh Jammaluddin, Utama dan Molland (2009) dengan pengujian Towing Tank kapal katamaran tak sejajar (*staggered catamaran*) di LHI.
2. Hasil analisa data CFD-Ansys CFX tergantung dari banyaknya jumlah *grid (meshing)* yang ditentukan. Selain itu meshing yang digunakan adalah dari yang renggang sampai yang padat untuk dapat dilakukan grid independensi.
3. Pendefinisian model dimaksudkan agar model yang telah dibuat dapat dikenali oleh CFD-Ansys CFX.
4. Input data yang dilakukan adalah pemasukan kondisi batas berdasarkan data eksperimen. Dan pemilihan model turbulen yang sesuai dengan analisa yang dimaksud.
5. Selanjutnya adalah proses *flow solver*, CFD akan membaca data model dan data input kemudian diselesaikan dengan metode RANS melalui pendekatan iterasi.
6. Hasil dari running program ANSYS-CFD adalah berupa hambatan viskos dan hambatan total.
7. Hasil yang telah didapatkan dikomparasi dengan hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh Utama (2009) dan hasil pengujian kapal katamaran tak sejajar (*staggered catamaran*) oleh LHI, diharapkan hasilnya memiliki tingkat kesalahan $< 10 \%$.
8. Jika $> 10 \%$ akan dilakukan peninjauan ulang model, *meshing*, Input data.
9. Hasil yang telah memenuhi kriteria akan disusun sebagai Tugas Akhir.

1.8. Sistematika Penulisan

Untuk memperoleh hasil laporan tugas akhir yang sistematis serta tidak keluar dari pokok permasalahan maka dibuat sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian secara umum dan singkat meliputi latar belakang masalah ,tujuan penulisan, manfaat penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan dari tugas akhir yang disusun.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan tentang berbagai referensi dan teori yang terkait dengan judul penelitian yang meliputi perhitungan hambatan suatu kapal, input data, dan beberapa manfaat yang didapatkan dengan CFD dalam mengetahui besar hambatan katamaran.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi langkah – langkah selama penelitian, mulai dari tahap persiapan sampai penyusunan laporan penelitian.

BAB IV SIMULASI CFD

Bab ini berisi teori yang digunakan dalam simulasi CFD beserta proses pemodelan kapal dan pemberian kondisi batas dalam proses simulasi kapal.

BAB V HASIL SIMULASI CFD

Pada bab ini akan dituliskan semua yang terkait dengan analisa CFD yang dilakukan, baik langkah-langkah input CFD maupun hasil CFD yang nantinya dapat digunakan untuk mendapatkan hasil yang diharapkan.

BAB VII VALIDASI DATA

Bab ini berisi tentang pengecekan hasil CFD selesai dilakukan dengan hasil percobaan, sehingga dapat diketahui berapa besar error dari program ini.

BAB VIII KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan, serta rekomendasi dan saran untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Bab 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kapal Katamaran

Terdapat begitu banyak jenis kapal termasuk kapal dengan badan kapal lebih dari satu seperti kapal katamaran dengan 2 buah badan kapal, trimaran dengan 3 buah badan kapal dan seterusnya. Terdapat beberapa hal penting yang harus diperhatikan pada saat merancang kapal katamaran yaitu permasalahan hambatan yang ditimbulkan oleh dua badan kapal sehingga menghasilkan interferensi diantara kedua lambung tersebut yang didefinisikan sebagai interferensi viskos yang disebabkan oleh aliran asimetris disekitar kedua badan kapal dan merupakan pengaruh pada pembentukan *boundary layer* disekitar badan kapal serta interferensi gelombang yang disebabkan oleh sistem gelombang antara kedua badan kapal

Berbagai keuntungan lebih diberikan oleh kapal katamaran dibandingkan dengan kapal monohull. Kapal katamaran memiliki luasan geladak yang lebih luas dan tingkat stabilitas transversal yang lebih baik dibandingkan dengan kapal monohull (Insel & Molland, 1990).

Keuntungan lain dari bentuk kapal katamaran selain dari segi kenyamanan penumpang adalah bentuk kapal yang berbeda dengan *monohull* membuat hambatan kapal katamaran 20 % lebih kecil pada displasemen kapal yang sama. Hal ini membuat kapal katamaran mampu menurunkan konsumsi bahan bakar sebesar 20% dibandingkan dengan kapal monohull.

Luasnya layout kapal katamaran memberikan kemudahan dalam desain dan tata ruang kapal untuk berbagai jenis kapal seperti kapal penumpang serta penataan ruang untuk kendaraan. Hal ini membuat kapal katamaran telah banyak digunakan oleh pada berbagai tipe kapal penumpang.

Selain kelebihan yang dimiliki oleh kapal katamaran, kapal katamaran memiliki beberapa kekurangan seperti penggunaan dua lambung katamaran membuat kapal katamaran memiliki maneuver yang kurang baik jika dibandingkan dengan kapal *monohull*.

Karakteristik hambatan di air tenang kapal katamaran lebih besar dibandingkan dengan monohull, dimana dominasi hambatan gesek mencapai 40% dari hambatan total pada kecepatan rendah (Wijholst dan Wargeland, 1996). Penurunan kecepatan kapal

katamaran akibat kondisi gelombang yang tinggi tidak jarang ditemui pada kapal katamaran sehingga kapal katamaran pada umumnya digunakan pada kecepatan tinggi dengan tingkat penggunaan bahan bakar yang relatif ekonomis.

2.2. Desain Lambung Katamaran

Banyak riset dan pengembangan desain kapal katamaran yang telah dilakukan untuk mendapatkan hasil yang seoptimum mungkin. Desain dan pengembangan umumnya berfokus pada lambung dan konfigurasinya, sehingga menghasilkan banyak desain yang unik dan menarik untuk diteliti.

Desain katamaran berdasarkan bentuk lambung demihullnya diantaranya:

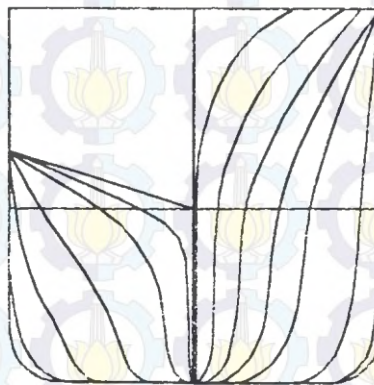
- a. Katamaran lambung simetris (*Symmetric*), yaitu katamaran yang setiap lambung demihullnya didesain simetris dimana ukuran geometrinya sama antar sisi kanan dan kiri tiap lambung demihull.
- b. Katamaran lambung tak simetris (*Asymmetric*), yaitu katamaran yang setiap lambung demihullnya didesain tak simetris antar sisi kiri dan kanan perpotongan ditengah tiap lambung demihull, sehingga ukuran geometrinya akan berbeda antar sisi kanan dan kirinya.

Desain katamaran berdasarkan konfigurasi lambung demihullnya diantaranya:

- a. Katamaran lambung sejajar (*Unstaggered*), merupakan katamaran konvensional yang pertama, dengan desain antar lambung demihull yang sejajar dengan variasi jarak antar lambung yang berbeda-beda.
- b. Katamaran lambung tak sejajar (*Staggered*), desain katamaran dengan konfigurasi lambung yang tak sejajar, memiliki jarak tertentu secara memanjang dengan lambung lainnya.

2.2.1. Katamaran Lambung Simetris (*Symmetric*)

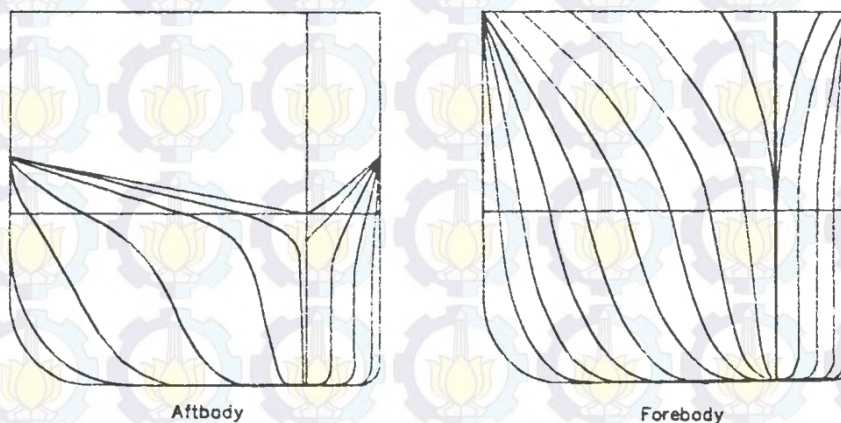
Merupakan desain bentuk lambung katamaran yang diadaptasi langsung dari variasi bentuk lambung konvensional. Tidak adanya batasan dari stabilitas membuat demihull katamaran dapat didesain dengan range yang besar dari L/B , B/T , C_b , C_{wp} dari monohull seperti bentuk lambung revolusioner yaitu SWATH. Gambar 2.1 merupakan contoh linesplan desain lambung simetris katamaran.



Gambar 2.1. Tipe bentuk lambung katamaran simetris (Insel & Molland, 1990)

2.2.2. Katamaran Lambung Tak Simetris (*Asymmetric*)

Merupakan bentuk katamaran yang dikembangkan dengan menggeser volume displasemen asimetris didalam atau diluar dari *centerline* demihull untuk mengurangi efek interferensi yang merugikan antara demihull seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2.



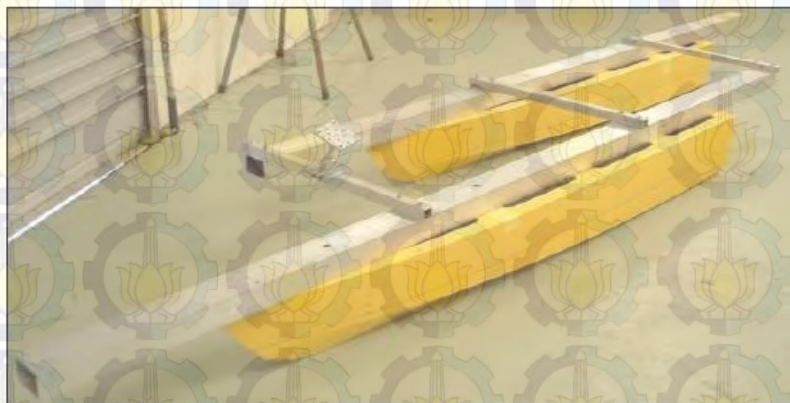
Gambar 2.2. Tipe bentuk lambung katamaran asimetris (Insel & Molland, 1990).

Pada tipe ini, bentuk lambung kapal disisi dalam yaitu diantara lambung-lambung, tidaklah sepenuhnya asimetris karena tidak sepenuhnya datar. Secara umum, bentuk lambung bagian dalam dilakukan optimasi untuk mendapatkan interferensi yang menguntungkan.

2.2.3. Katamaran Lambung Tak Sejajar (*Staggered*)

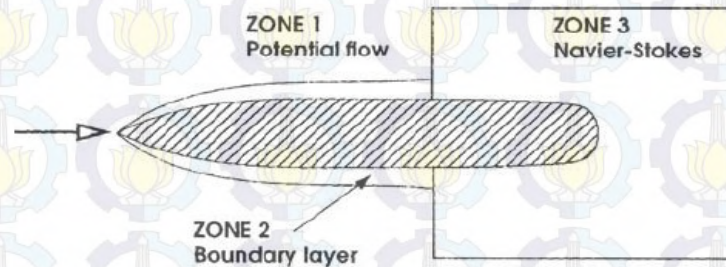
Katamaran tak sejajar (*staggered catamaran*) seperti pada gambar 2. adalah salah satu bentuk variasi penempatan posisi lambung kapal katamaran. Soeding (1997) dalam papernya melakukan percobaan untuk menyelidiki hambatan yang terjadi pada kapal katamaran lambung tak sejajar (*staggered*), yang ternyata dari hasil percobaan tersebut, diketahui katamaran tak sejajar dapat mengurangi hambatan hingga 50% dibanding dengan katamaran yang sejajar. Selain itu dari percobaannya juga ditemukan fakta bahwa olah gerak kapal (*seakeeping*) pada katamaran tak sejajar lebih baik daripada katamaran lambung sejajar. Diketahui juga bahwa gelombang arah melintang sangat berkontribusi terhadap hambatan yang dihasilkan. Berikut ini adalah kesimpulan paper yang didapat dari percobaan yang dilakukan Soeding (1997):

- Variasi posisi demihull secara memanjang katamaran merupakan parameter paling penting untuk mengurangi hambatan
- Hambatan total dan daya propulsi tereduksi hingga hampir 50% pada posisi demihull $R/L = 0.5$ pada rentang Fn 0.40 - 0.65
- Lambung katamaran yang tidak simetris membantu meningkatkan kestabilan olah gerak kapal (*seakeeping*)



Gambar 2.3. Model katamaran lambung tak sejajar (Sahoo, 2006)

Kemudian Sahoo (2006) menganalisa hambatan katamaran lambung tak sejajar dengan menggunakan software shipflow (CFD) dan Hydros. Shipflow merupakan software yang dapat digunakan untuk menghitung hambatan badan kapal baik hambatan viscous maupun hambatan gelombang. Seperti software CFD lainnya, 3 tahap proses dalam perhitungan seperti pada gambar 2, yaitu :



Zone 1: *Potential flow method.*

Zone 2: *Boundary layer method.*

Zone 3: *Navier–Stokes method.*

Potensial flow method digunakan untuk menganalisa aliran fluida pada daerah terluar. Aliran fluida dianggap sebagai aliran yang menerus (streamline continuous) mulai dari ujung depan kapal hingga aliran itu melebar semakin kebelakang. Zone 2 adalah dimana daerah thin boundary layer berada sepanjang badan kapal. Aliran fluida berubah menjadi aliran fluida yang bergerak di sepanjang badan kapal. *Boudary layer theory* digunakan untuk menghitung sifat dari aliran fluida pada daerah ini. Dan yang terakhir adalah aliran fluida yang mulai melebar, yang titik pelebarannya terjadi pada daerah bagian tengah kapal. Aliran pada daerah ini merupakan aliran turbulent yang didalamnya terdapat aliran turbulent dari propeller. *Navier-Stokes theory* digunakan untuk perhitungan pada daerah zone 3 ini.

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian Sahoo (2006) dengan software shipflow (CFD):

1. Ketepatan memasukan faktor interferensi viskositas amat berpengaruh
2. Shipflow dapat digunakan sebagai bagian dari tahap desain awal untuk optimasi parameter kapal

3. Penelitian yang dilakukan Sahoo (2006) dengan software CFD ini memperkuat kesimpulan dari penelitian Soeding (1997) bahwa untuk mendapatkan pengurangan hambatan katamaran tak sejajar yang maksimal adalah dengan menemukan posisi penempatan demihull secara memanjang yang optimum.
4. Penelitian yang lebih dalam diperlukan untuk mengetahui seberapa efektif penempatan demihull secara memanjang dengan mencoba berbagai posisi yang lebih banyak.

2.3. Komponen Hambatan Kapal

Sebuah model kapal yang bergerak pada permukaan fluida tak terganggu dengan kecepatan konstan mengalami gaya yang berlawanan dengan arah gerak kapal yang disebut dengan hambatan total. Hambatan total ini dapat dibagi menjadi beberapa komponen. Untuk mempermudah analisa, komponen yang berinteraksi satu sama lain tersebut diasumsikan berdiri sendiri satu sama lain. Langkah ini tidak hanya dilakukan untuk percobaan pada model skala untuk memprediksi hambatan dari kapal sebenarnya tetapi juga untuk menemukan model percobaan sistematis untuk optimasi karakteristik komponen hambatan dari bentuk lambung kapal.

Estimasi dari komponen hambatan dilakukan dengan menggunakan metode berdasarkan pengukuran hambatan total dari *towing tank* dan estimasi hambatan gesek dengan pendekatan empiris dengan memperhitungkan kemungkinan hasil model untuk kapal dengan skala tertentu.

Komponen hambatan total pertama kali diperkenalkan oleh W. Froude. Dimana hambatan total merupakan penjumlahan hambatan gesek (R_F) dengan hambatan sisa (R_R) sehingga didapat persamaan:

$$R_{TM} = R_{FM} + R_{RM} \quad (2.1)$$

Dimana:

R_{TM} : Hambatan total model dari percobaan.

R_{FM} : Hambatan gesek dari permukaan datar yang memiliki permukaan basah sama dengan model, yang mana dapat ditentukan dari:

$$R_{FM} = f S V^n \quad (2.2)$$

f_n : konstanta, fungsi dari panjang dan sifat permukaan.

R_{RM} : Hambatan sisa dari model.

Dengan menggunakan metode Froude, dapat diperhitungkan untuk koefisien hambatan kapal *full scale* dari hasil perobaan model kapal, dengan persamaan koefisien hambatan:

$$C_{TS} = C_{FS} + (C_{TM} - C_{FM}) \quad (2.3)$$

Dengan metode baru, pada tahun 1954, Hughes mengusulkan metode perhitungan hambatan total dari model kapal. Dimana hambatan total terdiri dari tiga komponen (Hughes, 1954), yaitu:

2.3.1. Hambatan gesek (*friction resistance*) (C_F)

Merupakan hambatan akibat gaya tangential stress antara molekul air dan kulit badan kapal yang bekerja pada permukaan bidang dengan luas dan panjang sama dengan model. Hambatan gesek terjadi karena adanya suatu volume air yang melekat pada badan kapal yang terbentuk pada permukaan bagian yang terendam dari badan kapal yang sedang bergerak dan disebut sebagai lapisan batas (*boundary layer*).

Didalam daerah lapisan batas tersebut, kecepatan gerak dari pada partikel-partikel zat cair bervariasi dari nol pada permukaan kulit kapal menjadi maksimum yaitu sama dengan besarnya kecepatan aliran zat cair pada tepi dari lapisan tersebut. Perubahan atau variasi kecepatan partikel-partikel zat cair inilah yang mencerminkan adanya pengaruh intensif gaya-gaya viskositas pada lapisan batas yang menimbulkan tahanan gesek pada lambung kapal tersebut. Semakin kasar bentuk badan kapal maka nilai dari hambatan gesek akan semakin meningkat.

2.3.2. Hambatan bentuk (*form resistance*) (C_{Fo})

Merupakan hambatan diluar batas hambatan gesek dan terjadi pada saat badan kapal tercelup dengan cukup dalam. Hughes mengasumsikan bahwa untuk lambung yang streamline pada aliran turbulen dapat diekspresikan sama dengan hambatan gesek.

Hambatan ini terjadi karena terbentuknya partikel-partikel air yang bergerak dalam satuan pusaran (*eddy*). Pusaran-pusaran ini terjadi antara lain karena bentuk-bentuk yang

tidak *streamline*, bentuk yang demikian ini terdapat di bagian belakang kapal. Akibat terjadinya arus *eddy* ini, tekanan pada bagian buritan yang terjadi tidak dapat mengimbangi tekanan pada bagian depan sehingga timbullah suatu gaya yang melawan gerak maju dari kapal.

2.3.3. Hambatan Gelombang (*wave resistance*) (C_W)

Secara matematis, dari koefisien-koefisien hambatan dapat ditulis dengan persamaan:

$$C_T = C_F + C_{FO} + C_W \quad (2.4)$$

Dimana, $C_{FO} = k C_F \quad (2.5)$

Substitusi Pers. (1) ke Pers. (2)

$$\begin{aligned} C_T &= C_F + C_{FO} + C_W \\ &= C_F + k C_F + C_W \end{aligned}$$

$$C_T = (1+k) C_F + C_W \quad (2.6)$$

(1+k) disebut dengan *form factor* dan dapat ditemukan pada percobaan dengan percobaan dengan kecepatan sangat rendah dimana C_W dapat diabaikan. Secara matematis didapatkan persamaan *form factor*:

Dengan $C_W \approx 0$ maka,

$$C_T = (1+k) C_F + C_W$$

$$C_T = (1+k) C_F + 0$$

$$C_T = (1+k) C_F$$

Sehingga $(1+k) = C_T/C_F \quad (2.7)$

Metode baru dalam perhitungan hambatan kapal dipublikasikan oleh ITTC pada tahun 1978 dengan judul “1978 Performance Prediction Method for Simple Single Screw Ships”.

Hambatan total kapal dibagi dalam empat komponen:

$$C_T = (1+k) C_F + C_R + \Delta C_F + C_{AA} \quad (2.8)$$

Dimana,

(1+k) : merupakan *form factor*.

C_F : Hambatan gesek dengan menggunakan ITTC '57.

C_R : Hambatan sisa dari percobaan model.

ΔC_F : *Roughness Allowance (0 for smooth model)*.

C_{AA} : Air Resistance (assumed 0 for model without superstructure).

Metode untuk mendapatkan k dengan pengukuran pada kecepatan rendah dimana C_R diasumsikan mendekati 0 dan $(1+k) = C_T/C_F$. Dengan penurunan sebagai berikut:

$$C_R \approx 0$$

$$\Delta C_F \approx 0 \text{ (0 for smooth model).}$$

$$C_{AA} \approx 0 \text{ (assumed 0 for model without superstructure).}$$

Sehingga,

$$C_T = (1+k) C_F + C_R + \Delta C_F + C_{AA}$$

$$= (1+k) C_F + 0 + 0 + 0$$

$$C_T = (1+k) C_F$$

$$(1+k) = C_T/C_F$$

Pada pakteknya, percobaan pada kecepatan rendah memiliki kelemahan dalam menjamin keakuratan hasil yang didapat sehingga terdapat metode lain dalam memperhitungkan hambatan, yaitu metode yang diusulkan oleh Prohaska.

Mengasumsikan $C_{RM} = a F_n^n$ pada kecepatan rendah (pada umumnya $F_n < 0.2$) sehingga didapat persamaan hambatan total kapal sebagai berikut:

$$C_T = (1+k) C_F + a F_n^n \quad (2.9)$$

Dimana $(1+k)$ merupakan form factor demihull, a dan n dapat diselesaikan melalui *least square analysis* dari pengukuran pada kecepatan rendah. Kemudian C_F merupakan rumus empiris ITTC '57 correlation line yaitu :

$$C_F = \frac{0.075}{(\log_{10} Re - 2)^2}$$

2.4. Hambatan Katamaran

Hambatan katamaran memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi jika dibandingkan dengan hambatan kapal monohull. Hal ini dikarenakan adanya faktor interferensi yang dihasilkan antara kedua lambung kapal.

Menurut Insel dan Molland (1990), efek interaksi dalam katamaran dibagi menjadi dua bagian, yaitu:

2.4.1. Interferensi badan kapal (*Body Interference*)

Aliran sekitar badan demihull simetris adalah asimetris atau tidak simetris karena adanya pengaruh satu sama lain dari demihull misalnya tekanan bidang relatif tidak simetris terhadap *centerline* demihull. Hal ini berkaitan dengan hal berikut:

- a. Kecepatan pesturbasi atau usikan kecepatan disekitar demihull semakin meningkat, khususnya pada sisi dalam, sisi terowongan dari lambung karena *venture effect*. Kecepatan ini semakin bertambah disebabkan oleh hambatan gesek kulit dan modifikasi *form factor*.
- b. Persilangan aliran (*cross flow*) yang dapat terjadi dibawah lunas (*keel*) yang mana dapat memicu kedalam komponen tarikan induksi (*induced drag*) yang pada normalnya diabaikan pada monohull. Meskipun dianggap penting, tetapi pengaruhnya relatif kecil jika dibandingkan dengan pengaruh kecepatan pesturbasi atau usikan kecepatan.
- c. Adanya perbedaan tinggi gelombang antara stern bagian dalam dan luar dari demihull, dapat menunjukkan arah aliran air menuju kedalam atau keluar. Hal ini mengakibatkan terjadinya vortice dan spray yang kemudian menghasilkan komponen tarikan induksi (*induced drag*).
- d. Semakin meningkatnya kecepatan didalam sisi terowongan disebabkan oleh perubahan struktur lapisan batas (*boundary layer*).
- e. Akibat gelombang dari satu demihull mencapai badan (*hull*) lainnya membuat luas bidang basah menjadi berubah sehingga memberikan nilai perubahan pada hambatan gesek (*skin friction*).

2.4.2. Interferensi Gelombang (*Wave Interference*)

Merupakan interferensi akibat sisi-sisi dari dua lambung yang berjalan bersamaan. Interferensi gelombang dapat dianalisa melalui hambatan gelombang. Adanya perubahan tekanan bidang mengakibatkan perubahan gelombang dari demihull. Gelombang melintang dari demihull selalu diperkuat oleh lambung lain saat gelombang divergen haluan dari satu lambung dapat dihilangkan oleh gelombang divergen buritan dari lambung yang lain.

Pemantulan dari gelombang divergen dari demihull yang sama menyulitkan fenomena interferensi. Gelombang haluan dari satu lambung yang bertemu di terowongan (bagian lambung antara) dengan gelombang haluan dari lambung yang lain tepat di *centerline* dan

superposisi antar keduanya menjadi sangat tinggi menghasilkan gelombang yang tidak stabil, bahkan menimbulkan gelombang pecah dan percikan atau semburan pada kecepatan tinggi. Aliran air kearah dalam dan kearah luar pada bagian belakang (*stern*) merubah formasi gelombang dibelakang badan kapal.

Dengan memasukkan efek interferensi yang dihasilkan maka metode untuk perhitungan hambatan total kapal katamaran dapat dimodifikasi dari perhitungan hambatan total *monohull*. Modifikasi dapat dilakukan pada metode ITTC '57, ITTC'78 dan pengukuran secara langsung untuk mengetahui faktor interferensi (Jammaluddin dan Utama). Berikut merupakan modifikasi yang dilakukan pada metode ITTC '57:

Hambatan total *monohull*

$$C_{T \text{ (mono)}} = C_{F \text{ (mono)}} + C_{R \text{ (mono)}}$$

Hambatan total katamaran

$$\begin{aligned} C_{T \text{ (cat)}} &= C_{F \text{ (cat)}} + C_{R \text{ (cat)}} \\ &= \sigma C_F + \phi C_R \end{aligned}$$

Sehingga hambatan total katamaran

$$C_{T \text{ (cat)}} = \sigma C_F + \phi C_R \quad (2.10)$$

Dimana,

σ : merupakan faktor interferensi hambatan gesek (*friction*).

ϕ : merupakan faktor interferensi hambatan sisa (*residual*).

Faktor interferensi hambatan gesek (σ) dapat menginterpretasikan adanya pertambahan kecepatan pada daerah antar lambung katamaran yang mana faktor ini dapat diperhitungkan dari integrasi hambatan gesek lokal atas permukaan bidang basah dan dipengaruhi oleh jarak pisah lambung (S/L) dan R/L. Variasi besarnya jarak pisah lambung (S/L), (R/L) dan Froude Number yang mengakibatkan perubahan kecepatan kapal berpengaruh terhadap besarnya faktor interferensi hambatan sisa (ϕ) dimana faktor ini dapat diintegrasikan dari hasil percobaan.

Metode lain dalam perhitungan hambatan total katamaran dilakukan dengan memodifikasi metode perhitungan hambatan total katamaran oleh ITTC '78:

$$C_{T \text{ (cat)}} = C_{F \text{ (cat)}} + C_{W \text{ (cat)}}$$

$$C_{T \text{ (cat)}} = (1 + \phi k) \sigma C_F + \tau C_W$$

Sehingga hambatan total katamaran

$$C_{T (cat)} = (1 + \phi k) \sigma C_F + \tau C_W \quad (2.11)$$

Dimana

σ : merupakan faktor interferensi hambatan gesek (*friction*) sesuai dengan metode ITTC '57.

ϕ : merupakan faktor interferensi hambatan bentuk (*form*).

τ : merupakan faktor interferensi hambatan gelombang (*wave*).

ϕ digunakan dalam perhitungan tekanan disekitar badan kapal.

Untuk tujuan praktis, ϕ dan σ dapat dikombinasikan dalam faktor interferensi hambatan viskos (β) sehingga :

$$(1 + \phi k) \sigma = (1 + \beta k) \quad (2.12)$$

Sedangkan faktor interferensi hambatan gelombang dapat diperoleh dari hasil percobaan sehingga diperoleh hambatan total kapal katamaran sebagai berikut:

$$C_{T (cat)} = (1 + \beta k) C_F + \tau C_W \quad (2.13)$$

Penurunan rumus Interferensi

Untuk Hambatan Total Monohull

$$C_{T (mono)} = (1 + k) C_F + \tau C_W$$

$$\tau C_{W (mono)} = [C_T - (1 + k) C_F]_{(mono)} \quad (2.14)$$

$$\tau = [C_T - (1 + k) C_F]_{(mono)} / C_{W (mono)}$$

Dengan catatan bahwa untuk demihull in isolation maka $\beta = 1$ dan $\tau = 1$.

Untuk Hambatan Total Katamaran

$$C_{T (cat)} = (1 + \beta k) C_F + \tau C_W$$

$$\tau C_{W (cat)} = [C_T - (1 + \beta k) C_F]_{(cat)}$$

$$\tau = [C_T - (1 + \beta k) C_F]_{(cat)} / C_{W (cat)} \quad (2.15)$$

Maka dengan substitusi dari Pers. (2.14) dan Pers (2.15) didapat

$$\tau_{(mono)} = \tau_{(cat)}$$

$$[C_T - (1 + \beta k) C_F]_{(mono)} / C_{W (mono)} = [C_T - (1 + \beta k) C_F]_{(cat)} / C_{W (cat)}$$

$$\tau = C_{W (cat)} / C_{W (mono)} = [C_T - (1 + \beta k) C_F]_{(cat)} / [C_T - (1 + k) C_F]_{(mono)}$$

$$\text{Sehingga rumus interferensi } \tau = [C_T - (1 + \beta k) C_F]_{(cat)} / [C_T - (1 + k) C_F]_{(mono)} \quad (2.16)$$

Bab 3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini digunakan metode analisa, simulasi, dan perhitungan secara matematis dengan tahapan-tahapan sebagai berikut:

3.1. Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan berkaitan dengan konsep hambatan kapal monohull dan hambatan kapal katamaran terutama kapal katamaran tak sejajar, fenomena gelombang yang dihasilkan oleh kapal serta interferensi baik akibat bentuk badan kapal maupun gelombang yang dihasilkan. Studi dilakukan dengan referensi dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, buku-buku literatur dan pencarian data lewat koneksi internet.

3.2. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan untuk mengerjakan Tugas Akhir dikumpulkan dari berbagai sumber antara lain melalui referensi penelitian sebelumnya dan mencari data dari koneksi internet. Data yang paling dibutuhkan seperti data ukuran utama kapal untuk pembuatan model dan hasil pengujian towing tank oleh penelitian yang telah dilakukan sebelumnya untuk validasinya

3.3. Pembuatan Geometri Model

Pembuatan geometri model menggunakan data kapal yang sesuai dengan penelitian sebelumnya yaitu pada pengujian towing tank dengan variasi jarak demihull S/L 0.2 dan 0.4 dan R/L 0.2 dan 0.4 dan pada variasi kecepatan Froude Number (Fr): 0.19-0.65. Pembuatan model kapal dilakukan dengan menggunakan bantuan software Maxsurf dan Ansys ICEM. Model lambung katamaran yang telah selesai dibuat di Maxsurf dapat diimport dan dibuka hasilnya dengan software ANSYS ICEM. Hasil pengerjaan model di Maxsurf harus dikoreksi jika terjadi kesalahan seperti tidak tersambungnyanya garis-garis yang membentuk model kapal. Jika tidak dibenahi, pesan terjadinya kesalahan atau pesan error akan muncul ketika dilakukan meshing. Ini terjadi karena pada saat meshing dilakukan model harus dalam bentuk surface dan surface dapat dibuat dengan baik dengan

garis-garis yang tersambung dengan baik. Kemudian konfigurasi lambung juga diatur dengan software ini.

Setiap bagian dari model harus dibuat sedemikian rupa sehingga dapat dikatakan sesuai dengan pengujian model kapal sehingga mampu mempresentasikan kondisi model yang sebenarnya. Kemudian bagian-bagian dari model seperti fluida dan kolam percobaan dibuat melalui Ansys ICEM CFD. Bagian-bagian ini menterjemahkan perilaku dan kondisi fluida maupun kapal disaat simulasi mulai dilakukan.

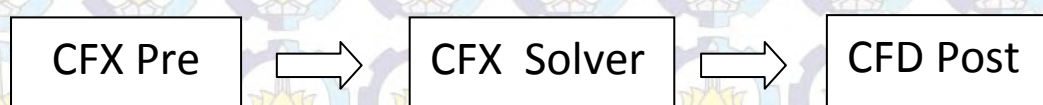
3.4. Pemilihan Jumlah Grid (Meshing)

Proses pengerjaan berikutnya adalah proses meshing atau pemilihan jumlah grid. Grid didefinisikan sebagai kumpulan elemen yang bergabung membentuk suatu model tertentu. Penentuan jumlah grid yang dipakai dalam pemodelan kapal berpengaruh terhadap tingkat ketelitian dari model tersebut. Semakin kecil ukuran grid yang digunakan maka akan semakin banyak jumlah grid yang digunakan dan membutuhkan waktu yang lama untuk melakukan simulasi dan menghasilkan ukuran file yang besar. Ukuran grid yang kecil akan berpengaruh terhadap tingkat kehalusan dari setiap bagian badan kapal. Penggunaan ukuran grid yang terlalu besar juga akan berpengaruh terhadap bentuk badan kapal yang akan dihasilkan sehingga dapat mengurangi hasil yang diperoleh.

Penentuan jumlah grid yang optimum ditentukan berdasarkan percobaan pemodelan beberapa model dengan berbagai variasi jumlah grid yang selanjutnya dilakukan optimisasi hingga didapatkan jumlah grid yang optimum tersebut. Jumlah grid yang optimum merupakan jumlah grid yang tidak berpengaruh terhadap besarnya hasil yang didapatkan. Proses mendapatkan jumlah grid optimum disebut dengan *Grid Independent Study*.

3.5. Solver

Program Ansys CFX dibuat terstruktur dan dilengkapi dengan interface untuk memudahkan dalam pemasukan data input dan pengamatan hasil running program. Program ini terdiri tiga program dasar seperti pada gambar



Gambar 3.1. Langkah-langkah untuk mendapatkan hambatan pada program ansys cfx

Pada bagian CFX Pre ini terdiri dari input masalah aliran dan input kondisi batas melalui suatu interface pada program tersebut. Pada software ini pengguna diminta untuk mendeskripsikan fenomena fisika yang akan dimasukkan kedalam simulasi. Dalam hal ini memasukkan nilai kecepatan kapal dan model aliran turbulensinya kemudian mendefinisikan fluida yang akan digunakan apakah air atau udara atau keduanya. Kemudian CFX Solver adalah program yang melakukan proses perhitungan berulang atau iterasi. Semakin kecil tingkat kesalahan yang kita tentukan, maka semakin banyak iterasi yang kita tentukan.

Untuk model harus didefinisikan agar software dapat melakukan simulasi yang mendekati hasil eksperimen. Fenomena interferensi akan terjadi antar demihull katamaran yang dapat mengasilkan aliran turbulen. Input data yang dilakukan adalah dengan memasukkan data lingkungan dan boundary berdasarkan data eksperimen. Ada dua pengaturan input model turbulensi pada software CFD yaitu, k-epsilon dan SST (Shear Stress Transfer). Dan pemilihan model turbulen yang sesuai dengan analisa yang dimaksud yaitu dengan model SST (*Shear Stress Transport*) dari Menter. Pada berbagai penelitian telah banyak dijelaskan mengenai model turbulen dengan menggunakan SST. Model SST telah divalidasi dalam sejumlah studi/riset (Bardina, dkk, 1997) yang dianggap sebagai model paling akurat untuk berbagai aplikasi aliran. Model SST mampu memprediksi dengan lebih akurat fenomena aliran fluida kompleks seperti fenomena separasi aliran dan kemampuan numerik yang lebih presisi dibanding dengan model lain seperti k- ϵ (k-epsilon) dari Launder-Sharma (Bardina, dkk, 1997). Model ini pada awalnya banyak digunakan untuk bidang aeronatika tetapi dengan berkembangnya teknologi, model ini banyak digunakan juga pada berbagai model industri. Model turbulen ini memecahkan turbulensi berbasis (k- ω) pada dinding-dinding dan turbulensi berbasis (k- ϵ) pada aliran massal (Jamaluddin dkk., 2011).

3.6. Analisa Hasil

Langkah terakhir dalam simulasi numerik dengan menggunakan Ansys CFD Post. Pada tahap ini dilakukan analisa dan visualisasi dari hasil yang telah diperoleh. Hasil yang telah diperoleh dianalisa melalui software Ansys CFX Post. Analisa hasil yang diperoleh berupa perhitungan besarnya hambatan kapal akibat dari kondisi-kondisi batas yang telah diterapkan sebelumnya.

Besarnya tekanan dan kecepatan aliran fluida disekitar fluida dianalisa untuk mempersentasikan fenomena interferensi yang dihasilkan disekitar badan kapal. Proses analisa tekanan dan kecepatan aliran fluida disekitar badan kapal dilakukan dengan memberikan beberapa *node* dengan parameter yang sama yaitu jarak *node* terhadap *centreplane* kapal dan ukuran dari setiap *node* dari semua model yang diuji.

3.7. Validasi Data

Setiap data yang telah didapatkan dari hasil simulasi numerik dengan menggunakan program CFD harus dilakukan validasi data. Terdapat tiga parameter utama pada tahap validasi data yaitu :

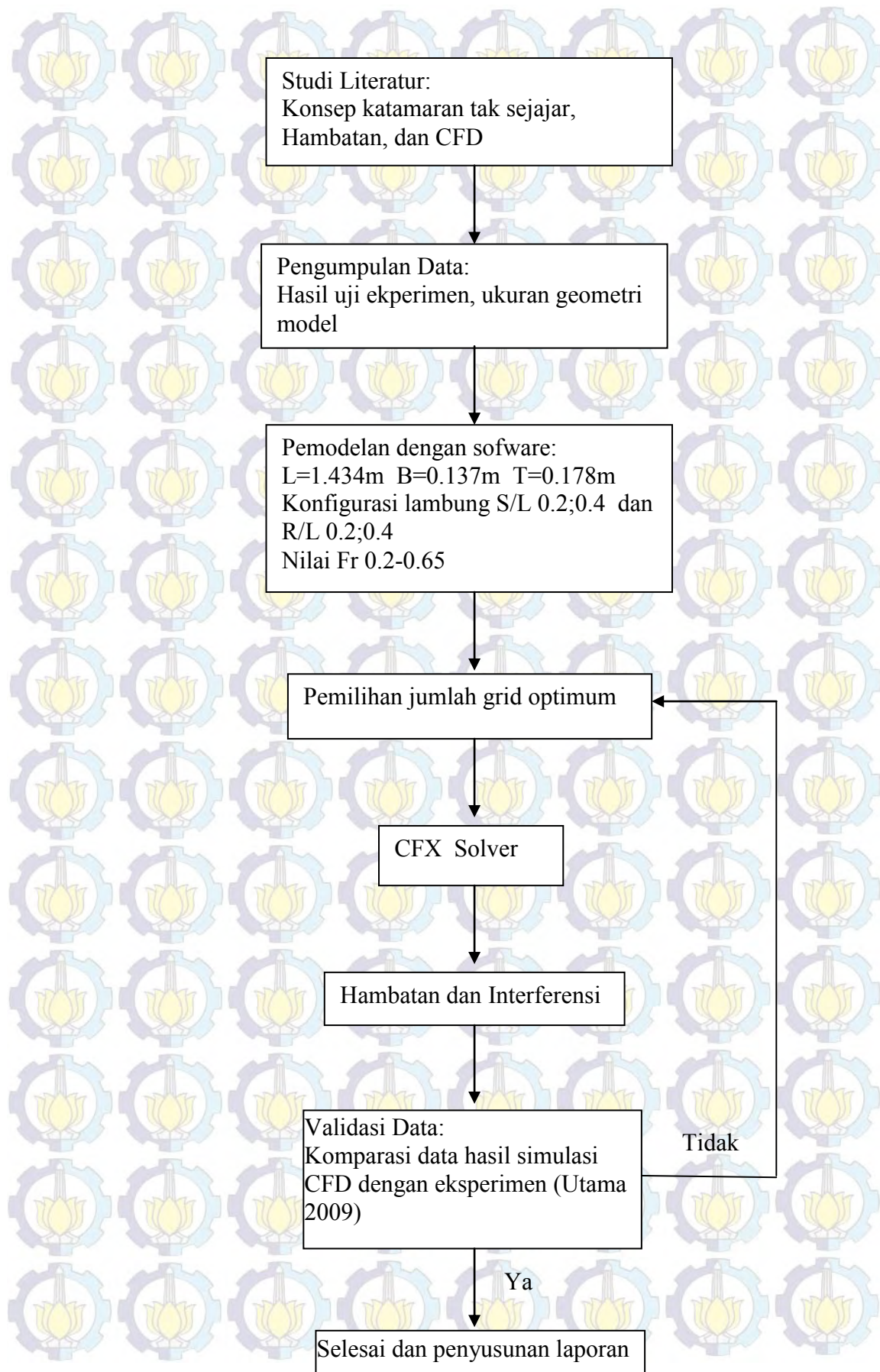
1. *Convergence*
2. *Grid Independence*
3. Verifikasi dengan data hasil eksperimen.

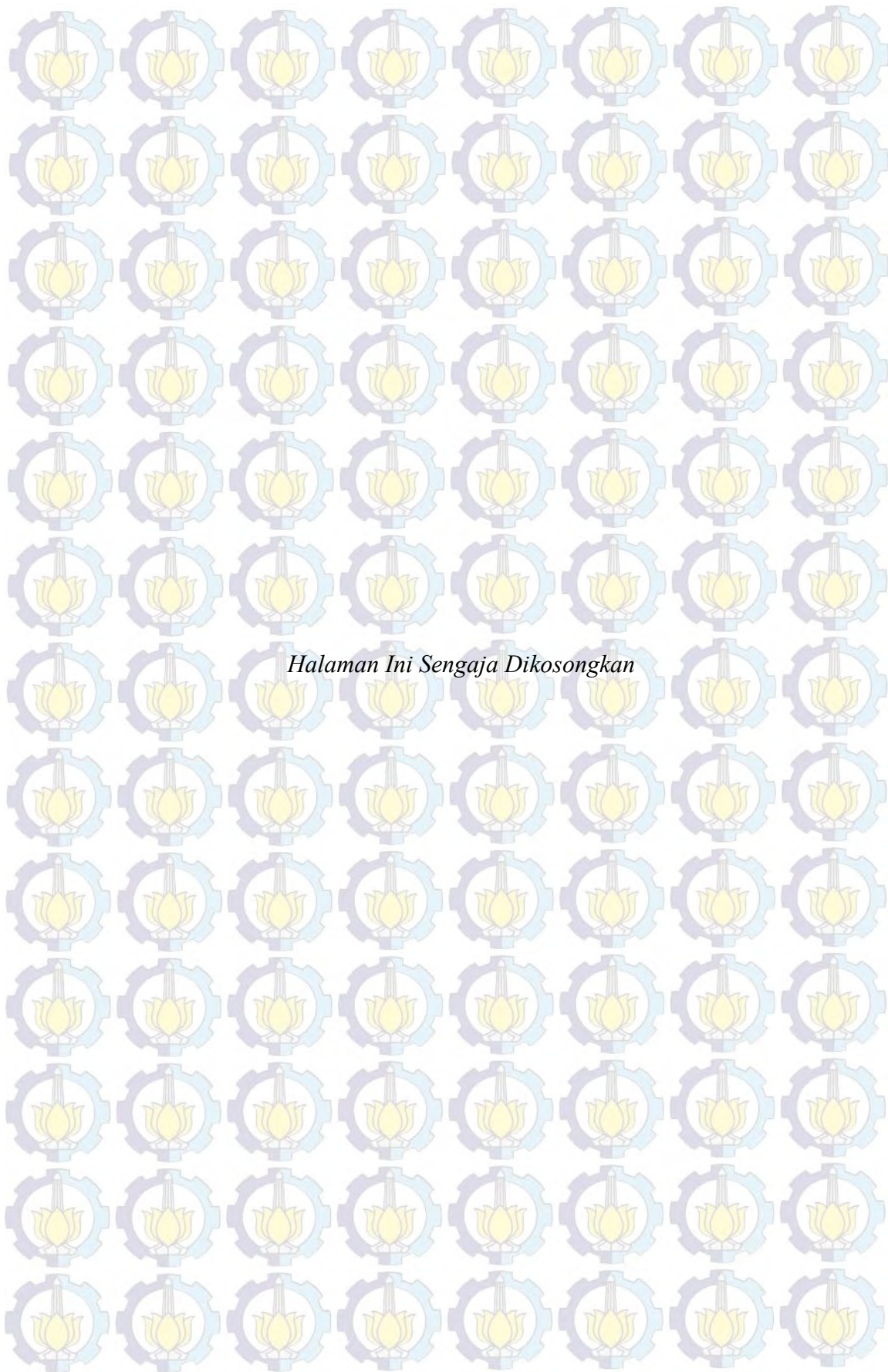
Validasi dengan menggunakan *grid independence* dan *convergence* akan dibahas di bab 4. Kemudian validasi data dengan menggunakan data hasil eksperimen merupakan langkah validasi yang dilakukan dengan cara membandingkan data hasil perhitungan besarnya hambatan kapal beserta komponennya menggunakan program CFD dengan besarnya hambatan kapal beserta komponennya menggunakan pengujian di *towing tank*. Hasil yang diperoleh harus memiliki trend yang sama sehingga data yang didapat dapat dikatakan valid atau memenuhi.

Dalam proses pengerjaan tugas akhir ini, hasil yang didapatkan tidak selalui baik dalam hal ini hasil tidak sesuai dengan kriteria validasi yang yang telah ditentukan. Hasil yang jauh dari hasil uji di *towing tank* masih mungkin sering terjadi. Contohnya saja ketika mencari nilai grid yang optimum, hasil yang didapat tidak sesuai dengan harapan. Maka, yang dilakukan adalah memperbaiki ukuran meshing dan juga mengoreksi ulang bentuk geometrinya.

Kesalahan yang umum terjadi pada proses pengerjaan tugas akhir ini adalah pada proses meshing, input data, dan kondisi batas. Ketiganya sangat menentukan hasil akhir dari proses simulasi, jika terjadi kesalahan pada salah satu dari proses tersebut, bisa dipastikan hasil akan jauh dari hasil pengujian di *towing tank*.

Langkah-langkah pengerjaan tugas akhir ini dapat dilihat dari gambar skema 3.2 berikut ini





Bab 4. PEMODELAN SIMULASI CFD

4.1. Konsep Computational Fluid Dynamics

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan salah satu metode perhitungan dalam sebuah control dimensi, luas dan *volume* dengan memanfaatkan bantuan komputer dalam melakukan perhitungan disetiap elemen-elemen pembagiannya. CFD juga didefinisikan sebagai suatu proses analisa terhadap suatu sistem tertentu yang melibatkan masalah perpindahan panas, aliran fluida, distribusi kecepatan dan fenomena terkait dengan dinamika fluida dimana proses perhitungan dan analisa dilakukan dengan menggunakan komputer (Versteeg dan Malalasekera, 1995).

Penggunaan CFD telah berkembang begitu luas dalam beberapa bidang industri dan berbagai disiplin ilmu. CFD digunakan untuk melakukan berbagai eksperimen dalam sebuah komputer dengan menggunakan eksperimen numerik. Penggunaan CFD untuk tujuan eksperimen memberikan keuntungan yang lebih jika dibandingkan dengan eksperimen dengan menggunakan model. Efisiensi waktu dan jumlah pengujian yang tak terbatas serta hasil yang didapatkan dapat diperoleh sesuai dengan pemberian kondisi batas yang diterapkan dan dapat dianalisa disetiap waktu yang ditentukan menjadikan CFD memiliki keunggulan tersendiri.

Pada saat ini terdapat berbagai macam perangkat lunak CFD yang dapat digunakan untuk melakukan analisa seperti Ansys CFX, Fluent, Foltrant, Shipflow dan lain-lain. Pada pengerjaan Tugas Akhir ini digunakan Ansys CFX untuk analisa aliran fluida beserta distribusi tekanan dan kecepatan disekitar badan kapal katamaran tak sejajar.

4.2. Persamaan Dasar Dinamika Fluida dalam CFD

Computational Fluid Dynamics merupakan suatu program yang dapat digunakan untuk menganalisa aliran fluida beserta karakteristik yang ditimbulkan akibat Bergeraknya suatu benda pada fluida tersebut. Persamaan dasar yang digunakan pada CFD merupakan persamaan yang didasarkan pada dinamika fluida yaitu persamaan kontinuitas, momentum dan energi. Persamaan-persamaan tersebut merupakan pernyataan matematis dari tiga prinsip dasar fisika sebagai berikut:

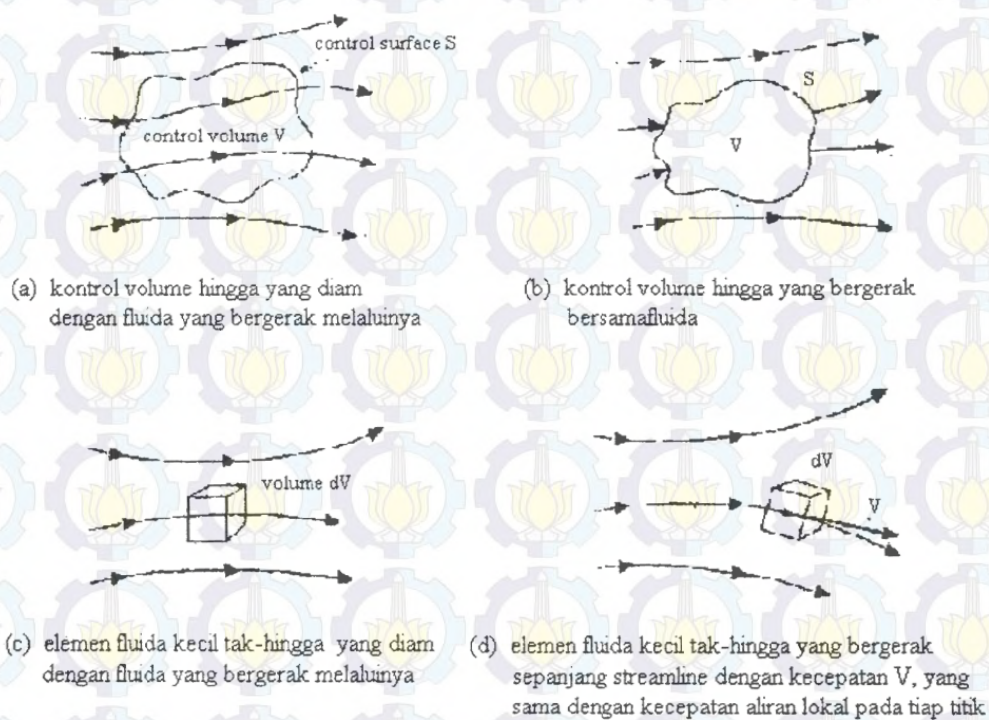
1. Hukum kekekalan massa
2. Hukum kedua Newton, $F=m.a$

3. Hukum kekekalan energi

Pada proses mendapatkan persamaan gerak fluida maka terdapat tiga hal yang harus menggunakan prinsip-prinsip sebagai berikut:

1. Memilih prinsip fisika dasar dari hukum-hukum fisika (hukum kekekalan massa, hukum kedua Newton dan hukum kekekalan energi).
2. Menetapkan prinsip-prinsip fisika tersebut dalam pemodelan aliran.
3. Pada penerapan ini, dapat diuraikan persamaan matematis yang meliputi prinsip-prinsip fisika.

Pada proses pemodelan aliran maka dapat digunakan beberapa metode yaitu metode kontrol volume dan metode elemen fluida. Pemilihan metode aliran dapat dijelaskan melalui gambar dibawah ini.



Gambar 4.1 Model-model aliran (a & b) pendekatan control volume hingga, (c & d) model-model pendekatan elemen fluida tak hingga (Anderson, 1995)

Pada pemodelan dengan menggunakan prinsip (a) dan (c) maka dapat diperoleh persamaan yang disebut dengan *conservation form*. Sedangkan pemodelan dengan menggunakan prinsip (b) dan (d) maka akan diperoleh persamaan yang disebut *non-conservation form*. Dari penurunan keempat model tersebut, pada dasarnya akan menghasilkan persamaan yang sama tetapi dengan proses matematis yang berbeda.

4.3. CFD-Ansys CFX

Pada proses penyelesaian masalah dengan menggunakan CFD-Ansys CFX terdapat tiga tahap yang harus dilalui, yaitu: *Pre-processor*, *Flow Solver (Solution)*, dan *Post Processor*.

A. Tahap Pre-Processor

Merupakan tahap dimana data diinput mulai dari pembuatan domain serta pembuatan kondisi batas atau *boundary condition*. Ditahap ini juga sebuah benda atau ruangan yang akan dianalisa dibagi-bagi dengan jumlah *grid* tertentu atau sering juga disebut dengan *meshing*.

Secara umum, tahap ini terdiri dari:

1. Pemodelan kapal
2. Pembuatan domain fluida
3. Pemodelan kondisi batas
4. Optimasi model yang optimum
5. Pemihan jumlah grid yang optimum

B. Tahap Flow Solver (Solution)

Pada tahap ini dilakukan proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara *iteratif*. Artinya penghitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Pada tahap ini dilakukan perhitungan secara numerik untuk menyelesaikan masalah dengan CFD.

Secara umum tahap ini terdiri dari:

1. Penentuan kondisi batas
2. Pemilihan jenis fluida
3. Penentuan kecepatan model
4. Pemilihan jumlah iterasi yang optimum
5. Penentuan batas konvergensi yang optimum

C. Tahap Post Processor

Tahap Post-Processor merupakan tahap yang digunakan untuk menganalisis, visualisasi dan mempresentasikan hasil interaktif sesuai dengan kasus yang sedang ditinjau. Hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola warna tertentu.

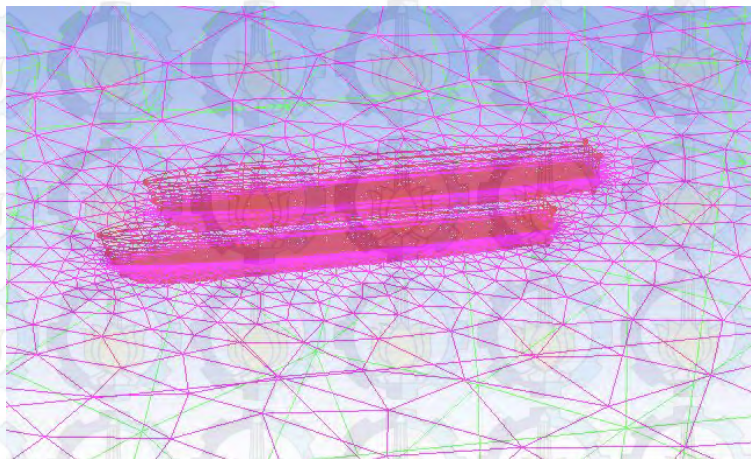
Secara umum tahap ini terdiri dari:

1. Perhitungan besar hambatan kapal
2. Perhitungan distribusi kecepatan disekitar badan kapal
3. Perhitungan distribusi tekanan disekitar badan kapal

4.4. Model Kapal

Pada proses permodelan, pemodelan kapal dibuat dengan beberapa model yaitu model demihull (monohull) dan katamaran. Pemodelan kapal dilakukan dengan menggunakan software Ansys ICEM CFD. Model kapal katamaran dibuat dengan dua variasi jarak demihull (S/L) yaitu 0.2 dan 0.4.

Pemodelan merupakan pemodelan tanpa *free surface* yang mendefinisikan bahwa seluruh badan kapal dibawah permukaan air atau sarat terbenam saja, yang berarti hanya menggunakan satu jenis fluida saja. Pemodelan ini dilakukan untuk mendapatkan hambatan viskos dari model kapal.



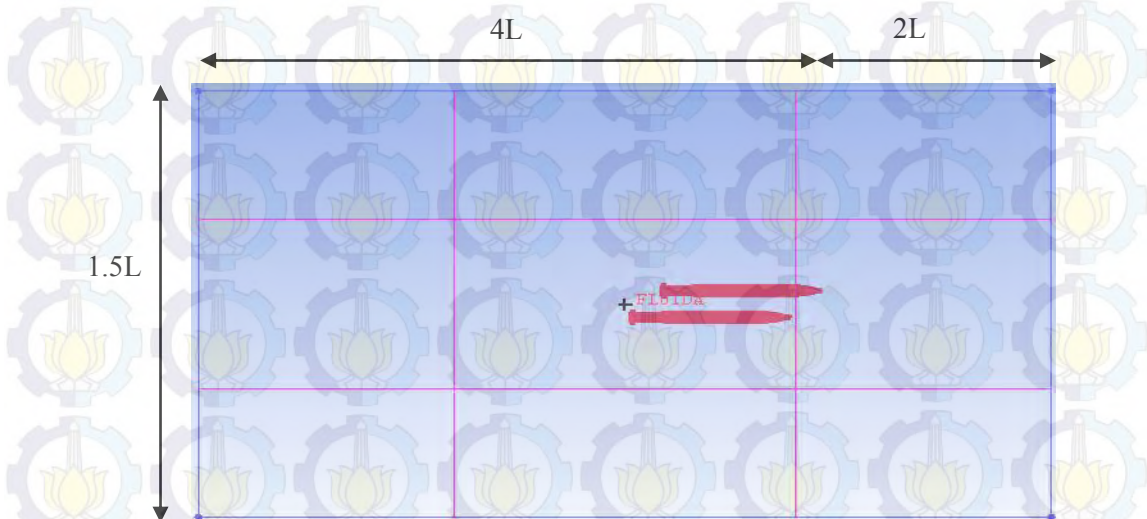
Gambar 4.2 Pemodelan tanpa free surface.

Pemodelan tersebut dimodelkan dengan menggunakan grid tertrahedral untuk bentuk *unstructural* yang digunakan dengan *the viscous flow code* untuk komputasi domain dan menggunakan grid quadrilateral dengan *the potential flow code* untuk

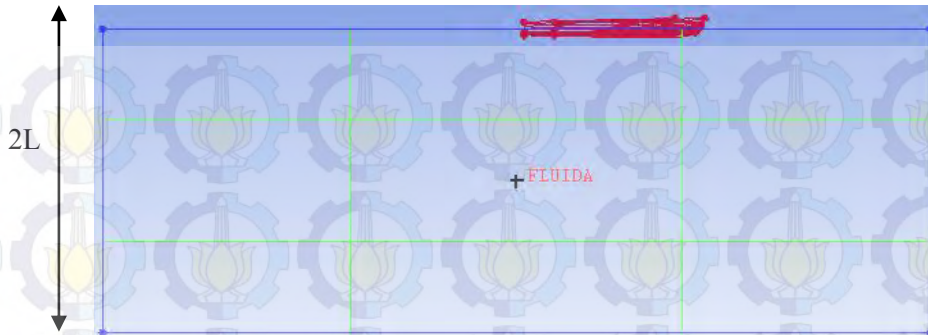
pemodelan kapal dan permukaan air disekitar badan kapal (Jamaluddin, dkk). Hal ini berhubungan dengan kualitas grid yang digunakan untuk konvergensi dan keakuratan perhitungan CFD dimana kualitas grid dibahas secara lebih terperinci oleh Thompson dkk. (1999) dan Deng dkk. (2010).

Pemodelan tidak hanya dilakukan pada kapal tetapi juga pada pemodelan domain. Domain didefinisikan sebagai lingkup atau tempat untuk kapal dilakukan simulasi dalam hal ini domain menginterpretasikan fluida yang dilalui oleh kapal. Proses pemodelan domain dilakukan dengan beberapa tahapan untuk mendapatkan ukuran domain yang optimum. Ukuran domain yang optimum akan digunakan sebagai acuan dan juga digunakan sebagai domain utama untuk perhitungan pada proses simulasi untuk semua variasi.

Ukuran domain tanpa *free surface* untuk simulasi dengan seluruh badan kapal sampai dengan sarat kapal terbenam menggunakan ukuran panjang domain kedepan dari kapal sebesar 1.5 panjang model lambung, dibagian belakang lambung berjarak 4 kali panjang model lambung, kemudian panjang dari sisi-sisi kapal sebesar 1.5 panjang model dan dengan kedalaman domain berjarak 2 kali panjang model lambung. Jarak tersebut sudah cukup memadai untuk menghindari blockage effect (Utama, 1999; Ahmed dan Soares, 2009). Gambar 4.3 dan 4.4 memberikan detail ukuran domain tanpa free surface tersebut.



Gambar 4.3. Tampak atas domain untuk pemodelan tanpa *free surface*.

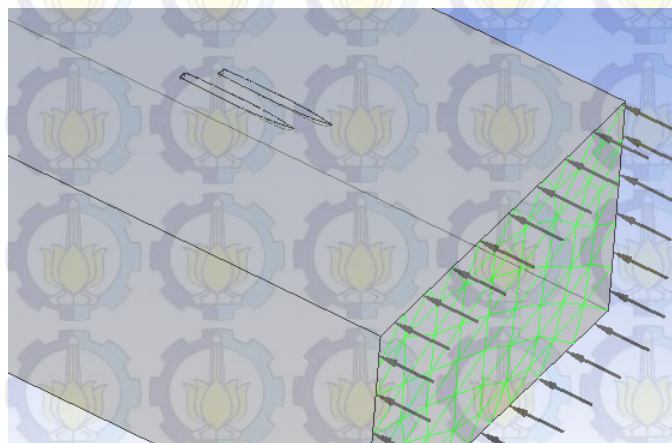


Gambar 4.4. Tampak samping domain untuk pemodelan tanpa *free surface*.

4.5. Boundary Condition

Pada proses pendefinisian kondisi batas, domain harus didefinisikan agar hasil yang diperoleh memiliki tingkat validitas yang tinggi. Pemodelan tersebut dilakukan proses simulasi pada berbagai kecepatan dengan variasi $Fr = 0.19-0.65$.

Untuk pemodelan tanpa *free surface*, kondisi batas terdiri dari *inlet*, *outlet*, *wall* dan model itu sendiri yaitu kapal katamaran tak sejajar. Kondisi batas *inlet* didefinisikan sebagai tempat masuknya fluida pada proses simulasi. Pada daerah ini kecepatan mengalirnya fluida didefinisikan untuk menginterpretasikan besar laju dari fluida yaitu air.



Gambar 4.5. Kondisi batas untuk inlet tanpa *free surface*.

Daerah sebagai tempat keluarnya fluida didefinisikan sebagai *outlet* sehingga pada daerah ini besarnya tekanan perlu didefinisikan. Kondisi batas *wall* termasuk daerah *bottom*, *top* dan *sidewall* didefinisikan sebagai dinding-dinding pembatas domain pada saat

proses simulasi. Kondisi batas pada daerah ini dianggap bahwa kekasaran dari dinding tidak berpengaruh terhadap besarnya kecepatan fluida yang mengalir sehingga laju fluida tidak akan mengalami perlambatan kecepatan akibat kekasaran dinding. Berbeda dengan kondisi batas dari *wall*, kondisi batas untuk kapal didefinisikan bahwa kekasaran permukaan badan kapal akan berpengaruh terhadap besarnya laju fluida. Hal ini berarti, laju fluida akan mengalami perlambatan akibat pengaruh kekasaran badan kapal yang kemudian CFD mendefinisikan hal tersebut pada proses perhitungan sebagai gaya yang menghambat laju kapal sehingga diperoleh besarnya hambatan viskos kapal.

Setelah penerapan kondisi batas pada setiap bagian dari domain, langkah selanjutnya adalah pemilihan model turbulen yang digunakan dan penentuan batas kriteria konvergensi. Pemilihan model turbulen didasarkan bahwa untuk memecahkan persamaan yang mengatur fluida, domain fluida dibagi kedalam jumlah sel yang terbatas dan persamaan ini dirubah kedalam bentuk aljabar melalui proses diskritisasi dimana menggunakan metode *finite volume* (Jamaluddin dkk., 2011). Model turbulen untuk simulasi adalah *Shear Stress Transport* (SST) seperti yang telah diaplikasikan oleh Menter (1993a, 1994b).

Pada berbagai penelitian telah banyak dijelaskan mengenai model turbulen dengan menggunakan SST. Model SST merupakan model yang paling akurat untuk digunakan pada pemodelan aliran pada NASA Technical Memorandum (Bardina, dkk, 1997). Model ini pada awalnya banyak digunakan untuk bidang aeronatika tetapi dengan berkembangnya teknologi, model ini banyak digunakan pada berbagai model industri. Model turbulen ini memecahkan turbulensi berbasis ($k-\omega$) pada dinding-dinding dan turbulensi berbasis ($k-\epsilon$) pada aliran massal (Jamaluddin dkk., 2011).

Langkah selanjutnya adalah penentuan batas kriteria konvergensi. Penentuan batas kriteria konvergensi yaitu *Root Mean Square* (RMS) untuk proses simulasi dengan *residual target value* sebesar 10^{-5} . Nilai ini merupakan nilai konvergensi terbaik dan telah banyak digunakan pada berbagai perhitungan aplikasi teknik (Ansys, 2007; Dinham dkk., 2008).

4.6. Konvergensi

Terdapat tiga parameter penting terkait dengan validasi hasil simulasi komputasi, yaitu konvergensi, *grid independence* dan verifikasi dengan hasil eksperimen. Ketiga hal tersebut akan dijelaskan dibawah ini.

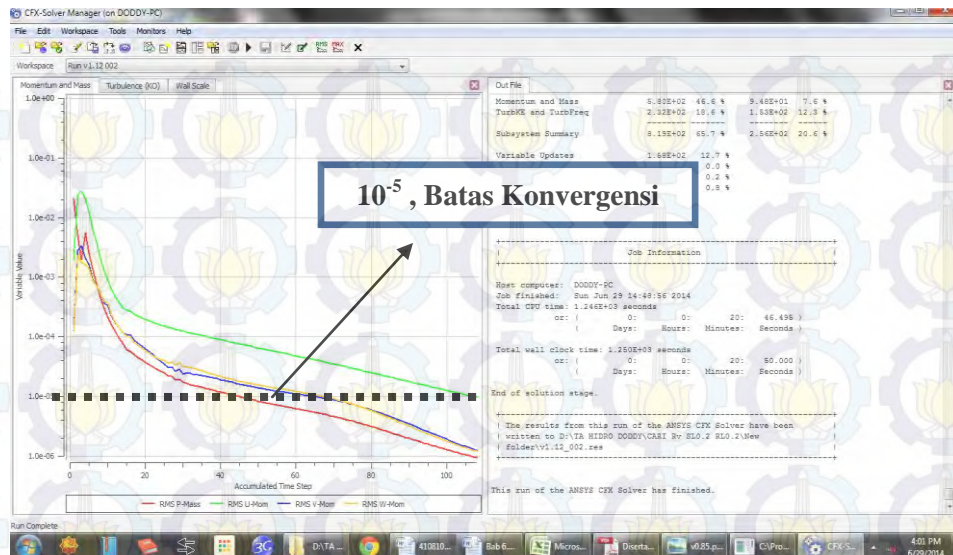
Konvergensi didefinisikan sebagai penentuan jumlah iterasi dan batas *Root Mean Square (RMS)* sebelum perhitungan dengan CFD dilakukan. Langkah ini dilakukan pada tahap *flow solver* yang merupakan tahap penentuan berbagai kondisi batas yang harus diterapkan sebelum proses simulasi dilakukan.

Jumlah iterasi yang digunakan berpengaruh terhadap jumlah waktu yang dibutuhkan untuk proses simulasi. Semakin banyak jumlah iterasi yang diterapkan maka waktu yang dibutuhkan juga akan semakin banyak untuk proses simulasi. Jumlah iterasi yang dibutuhkan berbanding lurus dengan jumlah total elemen yang digunakan pada proses pemodelan. Semakin banyak jumlah total elemen/grid yang digunakan maka jumlah iterasi yang dibutuhkan juga akan semakin banyak.

Berhentinya proses iterasi dapat disebabkan oleh beberapa hal yaitu proses iterasi telah mencapai batas dari jumlah iterasi yang telah ditentukan dan proses iterasi telah mencapai batas konvergensi yang ditentukan. Konvergensi optimum dapat diperoleh jika proses iterasi berhenti disebabkan oleh proses iterasi telah mencapai batas konvergensi yang ditentukan.

Besarnya nilai yang digunakan sebagai batas konvergensi atau batas *root mean square* yang banyak digunakan pada penelitian terkait dengan perilaku fluida adalah sebesar 10^{-5} . Nilai ini merupakan nilai konvergensi terbaik dan telah banyak digunakan pada berbagai perhitungan aplikasi teknik (Ansys, 2007; Dinham dkk., 2008).

Berdasarkan literatur maka batas konvergensi yang digunakan dalam proses iterasi menggunakan CFD-Ansys CFX adalah 10^{-5} . Berikut merupakan grafik konvergensi pada gambar 6.1 dari hasil proses iterasi model katamaran tak sejajar dengan menggunakan CFD-Ansys CFX.



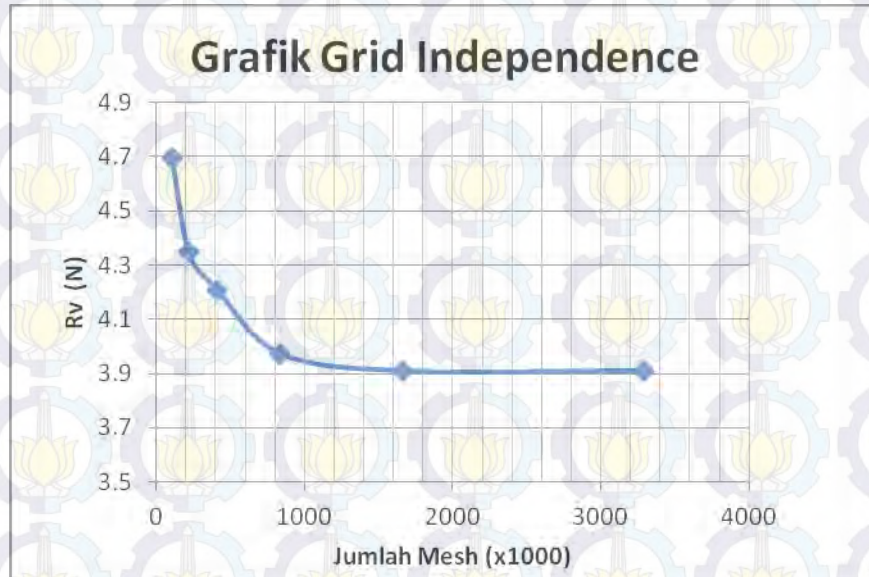
Gambar 6.1 Grafik Konvergensi

4.7. Grid Generation

Grid generation didefinisikan sebagai proses pemilihan jumlah grid yang optimum untuk proses perhitungan CFD. Ukuran grid yang digunakan berpengaruh terhadap hasil yang akan diperoleh tetapi jumlah grid yang digunakan juga harus dipertimbangkan. Penggunaan jumlah grid yang terlalu sedikit berpengaruh terhadap tingkat akurasi data yang diperoleh setelah dilakukan simulasi sehingga perlu dilakukan suatu proses untuk mendapatkan jumlah grid yang optimum.

Pada proses pemodelan, grid terahedral digunakan untuk bentuk-bentuk *unstructural* yang digunakan dengan *the viscous flow code* untuk komputasi domain dan menggunakan grid quadrilateral dengan *the potential flow code* untuk pemodelan kapal dan permukaan air disekitar badan kapal (Jamaluddin dkk.). Pemodelan grid menggunakan bentuk pendekatan yang *ununiform* dimana setiap elemen akan memiliki ukuran yang berbeda-beda. Grid yang uniform akan sangat membantu untuk mendefinisikan model pada daerah-daerah yang kritis terutama pada bagian yang memiliki tekukan yang tajam. Ukuran grid akan semakin mengecil dan semakin banyak jumlahnya pada daerah kritis ini. Hal ini berhubungan dengan kualitas grid yang digunakan untuk konvergensi dan keakuratan perhitungan CFD dimana kualitas grid dibahas secara lebih terperinci oleh Thompson dkk. (1999) dan Deng dkk. (2010).

Grid Independence merupakan salah satu asas pokok untuk akurasi dari hasil simulasi CFD. *Grid Independence* untuk kapal katamaran tak sejajar ini ditunjukkan pada Gambar 6.2.



Gambar 6.2 Grafik *Grid Independence*..

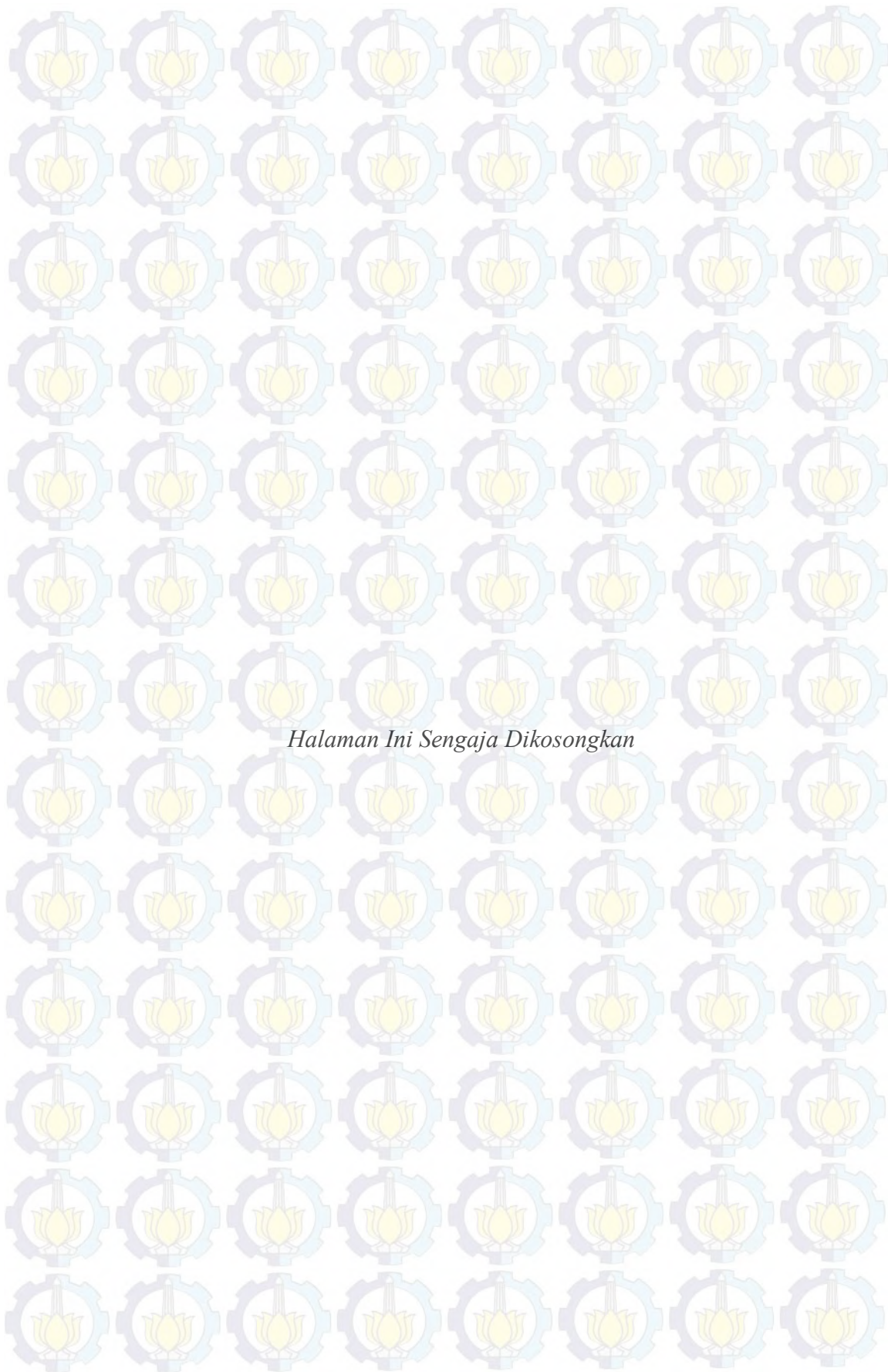
Jumlah elemen yang digunakan untuk kapal katamaran tak sejajar ini adalah 1659422 elemen. Nilai ini diambil berdasarkan data percobaan melalui CFD, dimana setelah penambahan jumlah elemen, hasil yang didapatkan adalah konstan sehingga grid yang digunakan sudah mencapai hasil yang optimum. Penambahan jumlah elemen untuk mendapatkan grid yang optimum ini harus masif, 1.5x -2x dari jumlah elemen sebelumnya. Jumlah grid yang optimum merupakan jumlah grid yang tidak berpengaruh terhadap besarnya hasil yang didapatkan. Jumlah elemen diambil dengan nilai terkecil dari jumlah elemen yang sudah memasuki daerah konstan. Hal ini dapat memberi keuntungan yaitu waktu proses simulasi yang dibutuhkan akan lebih efisien. Berikut adalah Tabel data jumlah elemen yang digunakan untuk pembuatan *grid independence*.

Tabel 4.1 Grid Independence

No.percobaan	1	2	3	4	5	6
Σ Mesh (x1000)	106	219	410	835	1659	3292
Rv	4.696	4.348	4.209	3.973	3.909	3.909

4.8. Verifikasi Hasil CFD

Proses verifikasi perlu dilakukan untuk pengujian model kapal melalui komputer. Verifikasi merupakan terminologi untuk menunjukkan tingkat kebenaran dari simulasi yang dilakukan. Untuk menentukan tingkat kevalidan, dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu memastikan semua *boundary condition* dan inisialisasi telah sesuai dengan teori dan kasus yang ditinjau serta dengan cara membandingkan dengan sebuah acuan/standart yang telah ada dengan referensi yang jelas. Verifikasi pengujian komputer dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian simulasi model kapal di komputer dengan pengujian model kapal pada kolam pengujian.



Bab 5. DATA HASIL SIMULASI

5.1. Data Hasil Simulasi

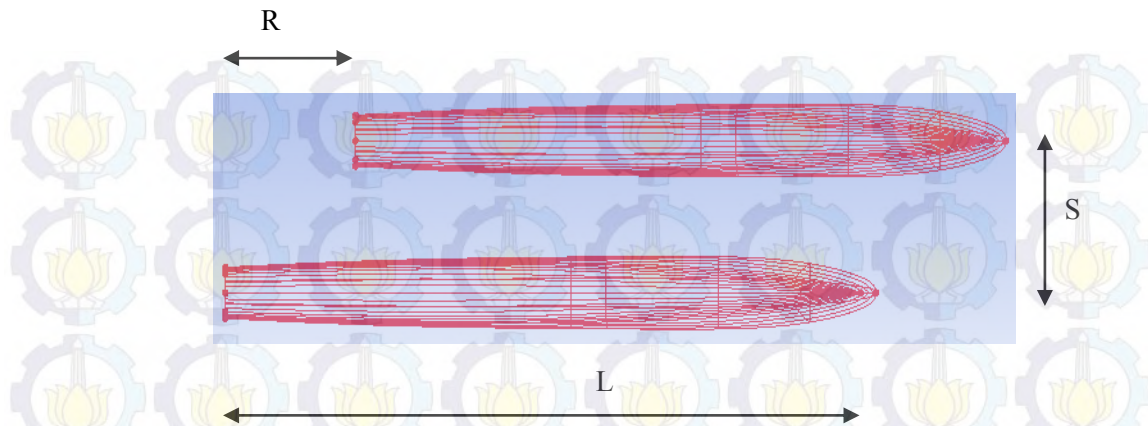
Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, perhitungan hambatan kapal dilakukan dengan menggunakan bantuan software CFD-Ansys CFX. Perhitungan hambatan dilakukan dengan simulasi tanpa *free surface*. Hasil yang diperoleh dari proses simulasi kapal tanpa *free surface* hanyalah hambatan viskos.

Pemodelan kapal menggunakan ukuran utama kapal sesuai dengan ukuran model kapal katamaran tak sejajar yang telah dilakukan pengujian dengan menggunakan Towing Tank. Terdapat dua macam bentuk lambung dalam pengujian ini yaitu demihull dan lambung katamaran tak sejajar. Berikut adalah data hidrostatik yang disajikan pada tabel 5.1 dari kedua bentuk lambung model.

Tabel 5.1. Data Hidrostatik Demihull dan Katamaran Tak Sejajar

Parameter	Demihull	Katamaran	Satuan
L_{wl}	1.372	1.372	m
B	0.132	-	m
T	0.078	0.078	m
WSA	0.2559	0.5206	m ²
$Volume$	0.007	0.014	m ³
$Displasmen$	7.0233	14.0439	kg

Perhitungan hambatan kapal melalui analisa CFD dilakukan pada berbagai kecepatan dengan variasi *Froude Number* (Fr) dan jarak pisah lambung (S/L) dan (R/L). Variasi jarak pisah lambung dilakukan pada 2 variasi yaitu pada S/L = 0.2 dan 0.4. Dan variasi jarak memanjang juga pada 2 variasi yaitu R/L = 0.2 dan 0.4. Keterangan S, R, dan L diperlihatkan pada gambar 5.1. Dimana L adalah panjang kapal, S adalah jarak melintang antar lambung demi dan R adalah jarak memanjang lambung demi.



Gambar 5.1. Konfigurasi katamaran tak sejajar

Variasi *Froude Number* dilakukan pada 6 variasi yaitu 0.19; 0.28; 0.37; 0.46; 0.56 dan 0.65. Dengan menggunakan rumus *Fr* dari Lewis (1980). Berikut proses perhitungan untuk mendapatkan kecepatan kapal pada $Fn = 0.19$.

$$Fn = \frac{Vs}{\sqrt{gL}} \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} Vs &= \sqrt{gL.Fn} \\ &= \sqrt{9.81 \times 1.405 \times 0.19} \\ &= 0.688 \text{ m/s} \end{aligned} \quad (5.2)$$

Sehingga didapatkan kecepatan kapal $Vs = 0.688 \text{ m/s}$.

Dengan cara yang sama untuk semua variasi *Froude Number* kapal sehingga dihasilkan data variasi kecepatan kapal untuk proses simulasi.

Tabel 5.2. Data variasi kecepatan kapal.

No.	Fr	Vship [m/s]
1	0.19	0.688
2	0.28	1.030
3	0.37	1.373
4	0.46	1.717
5	0.56	2.059
6	0.65	2.402

Berikut merupakan data hasil simulasi kapal dengan tanpa *free surface* pada proses simulasi CFD pada berbagai kecepatan dengan variasi *Froude Number* (Fr) dan jarak pisah lambung (S/L) dan (R/L) pada *bare hull condition* (tanpa tonjolan badan kapal dan propeller kapal).

- Hambatan Viskos pada Demihull

Tabel 5.3. Data hambatan viskos demihull

No.	Fr	Vship [m/s]	Rv [N]
1	0.19	0.688	0.366
2	0.28	1.030	0.751
3	0.37	1.373	1.275
4	0.46	1.717	1.935
5	0.56	2.059	2.728
6	0.65	2.402	3.653

- Hambatan Viskos Kapal Katamaran Tak Sejajar dengan S/L = 0.2 dan R/L = 0.2

Tabel 5.4. Data hambatan viskos katamaran tak sejajar S/L = 0.2 R/L = 0.2

No.	Fr	Vship [m/s]	Rv [N]
1	0.19	0.688	0.779
2	0.28	1.030	1.609
3	0.37	1.373	2.742
4	0.46	1.717	4.167
5	0.56	2.059	5.878
6	0.65	2.402	7.874

- Hambatan Viskos Kapal Katamaran Tak Sejajar dengan S/L = 0.2 dan R/L = 0.3

Tabel 5.5. Data hambatan viskos katamaran tak sejajar S/L = 0.2 R/L = 0.3

No.	Fr	Vship [m/s]	Rv [N]
1	0.19	0.688	0.778
2	0.28	1.030	1.617
3	0.37	1.373	2.748
4	0.46	1.717	4.177
5	0.56	2.059	5.890
6	0.65	2.402	7.896

- Hambatan Viskos Kapal Katamaran Tak Sejajar dengan $S/L = 0.2$ dan $R/L = 0.4$

Tabel 5.6. Data hambatan viskos katamaran tak sejajar $S/L = 0.2$ $R/L = 0.4$

No.	Fr	Vship [m/s]	R_V [N]
1	0.19	0.688	0.779
2	0.28	1.030	1.611
3	0.37	1.373	2.745
4	0.46	1.717	4.171
5	0.56	2.059	5.885
6	0.65	2.402	7.883

- Hambatan Viskos Kapal Katamaran Tak Sejajar dengan $S/L = 0.4$ dan $R/L = 0.2$

Tabel 5.7. Data hambatan viskos katamaran tak sejajar $S/L = 0.4$ $R/L = 0.2$

No.	Fr	Vship [m/s]	R_V [N]
1	0.19	0.688	0.762
2	0.28	1.030	1.579
3	0.37	1.373	2.688
4	0.46	1.717	4.079
5	0.56	2.059	5.749
6	0.65	2.402	7.696

- Hambatan Viskos Kapal Katamaran Tak Sejajar dengan $S/L = 0.4$ dan $R/L = 0.3$

Tabel 5.8. Data hambatan viskos katamaran tak sejajar $S/L = 0.4$ $R/L = 0.3$

No.	Fr	Vship [m/s]	R_V [N]
1	0.19	0.688	0.758
2	0.28	1.030	1.570
3	0.37	1.373	2.672
4	0.46	1.717	4.054
5	0.56	2.059	5.714
6	0.65	2.402	7.648

- Hambatan Viskos Kapal Katamaran Tak Sejajar dengan $S/L = 0.4$ dan $R/L = 0.4$

Tabel 5.9. Data hambatan viskos katamaran tak sejajar $S/L = 0.4$ $R/L = 0.4$

No.	Fr	Vship [m/s]	R_V [N]
1	0.19	0.688	0.754
2	0.28	1.030	1.562
3	0.37	1.373	2.658
4	0.46	1.717	4.035
5	0.56	2.059	5.687
6	0.65	2.402	7.613

Proses untuk mendapatkan komponen hambatan yang lainnya dilakukan dengan menggunakan rumus empiris yang telah banyak digunakan pada penelitian-penelitian sebelumnya.

Koefisien hambatan total, C_T , dan koefisien hambatan gesek C_V , didefinisikan sebagai:

$$C_T = \frac{R_T}{0.5 \rho (WSA) V^2}$$

$$C_V = \frac{R_V}{0.5 \rho (WSA) V^2}$$

Dimana V adalah kecepatan model dan WSA adalah luas permukaan basah pada kedua permukaan lambung, dalam hal ini lambung katamaran.

Hambatan total (R_T) adalah penjumlahan dari wave making (R_W) dan hambatan viskos (R_V). Koefisien hambatan total didefinisikan sebagai :

$$C_t = C_v + C_w \quad (5.3)$$

Hambatan viskos untuk demihull (monohull) dan katamaran didefinisikan sebagai :

$$(C_V)_{\text{mono}} = (1+k) C_F$$

$$(C_V)_{\text{cat}} = (1+\beta k) C_F$$

Komponen hambatan viskos yang terdiri dari hambatan gesek dan hambatan bentuk (*form factor*) diperoleh dari hasil uji di *towing tank*, dimana hambatan gesek diperoleh melalui formulasi *ITTC'57 correlation line* (C_F), kemudian *form factor* $(1+k)$ untuk monohull dan *form factor* $(1+\beta k)$ untuk katamaran diperoleh melalui uji model kecepatan rendah dan dengan menggunakan persamaan 2.9 yang mengaplikasikan metode Prohaska (*ITTC*, 2002 dan Bertram, 2000). Formulasi *ITTC'57 correlation line* (C_F) merupakan pendekatan gaya gesekan terhadap bidang datar (*flat*). Sedangkan faktor bentuk (*form factor* = $1+k$)

digunakan untuk memperhitungkan 3-dimensi bentuk lambung kapal, termasuk efek bentuk lambung kapal atas penambahan lapisan batas dan juga komponen hambatan tekanan viskos (kekentalan).

Koefisien hambatan gesek dihitung dengan menggunakan rumus empiris ITTC '57 *correlation line* didefinisikan sebagai:

$$C_F = \frac{0.075}{(\log_{10} Re - 2)^2}$$

Sedangkan harga *Reynolds Number* (Re) didapat dengan menggunakan rumus empiris sebagai berikut:

$$Re = \frac{V \cdot L_{wl}}{\nu}$$

Dengan V merupakan kecepatan kapal, L_{wl} merupakan panjang garis air kapal dan ν merupakan *kinematic viscosity* dengan harga $\nu = 1.18831 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Tabel 5.10. Hasil Eksperimen Viscous Form Factor (Towing Tank)

Hull Form		(1+k)	(1+ β k)	β
Monohull		1.277	-	-
Katamaran S/L= 0.2	R/L= 0.2	-	1.430	1.552
	R/L= 0.3	-	1.430	1.552
	R/L= 0.4	-	1.430	1.552
Katamaran S/L= 0.4	R/L= 0.2	-	1.430	1.552
	R/L= 0.3	-	1.430	1.552
	R/L= 0.4	-	1.429	1.549

Sumber: Jamaluddin, 2012

Tabel 5.11. Data Koefisien Hambatan Demihull

Fr	R_v	C_v ($\times 10^{-3}$)	C_F ($\times 10^{-3}$)	(1+k)
0.19	0.366	5.991	4.931	1.215
0.28	0.751	5.478	4.516	1.213
0.37	1.275	5.228	4.251	1.230
0.46	1.935	5.099	4.063	1.255
0.56	2.728	4.977	3.916	1.271
0.65	3.653	4.902	3.799	1.290

Tabel 5.12. Data Koefisien Hambatan Katamaran Tak Sejajar S/L = 0.2 R/L=0.2

Fr	R_v	C_v (x 10⁻³)	C_F (x 10⁻³)	(1+ βk)	β
0.19	0.779	6.391	4.931	1.296	1.377
0.28	1.609	5.887	4.516	1.304	1.424
0.37	2.742	5.638	4.251	1.326	1.419
0.46	4.167	5.505	4.063	1.355	1.391
0.56	5.878	5.376	3.916	1.373	1.376
0.65	7.874	5.297	3.799	1.394	1.358

Tabel 5.13. Data Koefisien Hambatan Katamaran Tak Sejajar S/L = 0.2 R/L=0.3

Fr	R_v	C_v (x 10⁻³)	C_F (x 10⁻³)	(1+ βk)	β
0.19	0.778	6.365	4.931	1.291	1.353
0.28	1.617	5.899	4.516	1.306	1.436
0.37	2.748	5.632	4.251	1.325	1.414
0.46	4.177	5.501	4.063	1.354	1.388
0.56	5.890	5.369	3.916	1.371	1.370
0.65	7.896	5.294	3.799	1.393	1.355

Tabel 5.14. Data Koefisien Hambatan Katamaran Tak Sejajar S/L = 0.2 R/L=0.4

Fr	R_v	C_v (x 10⁻³)	C_F (x 10⁻³)	(1+ βk)	β
0.19	0.779	6.373	4.931	1.292	1.360
0.28	1.611	5.875	4.516	1.301	1.412
0.37	2.745	5.625	4.251	1.323	1.407
0.46	4.171	5.492	4.063	1.352	1.380
0.56	5.885	5.364	3.916	1.370	1.365
0.65	7.883	5.285	3.799	1.391	1.348

Tabel 5.15. Data Koefisien Hambatan Katamaran Tak Sejajar S/L = 0.4 R/L=0.2

Fr	R_v	C_v (x 10⁻³)	C_F (x 10⁻³)	(1+ βk)	β
0.19	0.762	6.230	4.931	1.263	1.255
0.28	1.579	5.762	4.516	1.276	1.294
0.37	2.688	5.511	4.251	1.296	1.290
0.46	4.079	5.375	4.063	1.323	1.266
0.56	5.749	5.244	3.916	1.339	1.252
0.65	7.696	5.163	3.799	1.359	1.237

Tabel 5.16. Data Koefisien Hambatan Katamaran Tak Sejajar S/L = 0.4 R/L=0.3

Fr	R_v	C_v (x 10⁻³)	C_F (x 10⁻³)	(1+ βk)	β
0.19	0.758	6.201	4.931	1.258	1.199
0.28	1.570	5.732	4.516	1.269	1.263
0.37	2.672	5.481	4.251	1.289	1.260
0.46	4.054	5.344	4.063	1.315	1.237
0.56	5.714	5.214	3.916	1.331	1.224
0.65	7.648	5.133	3.799	1.351	1.210

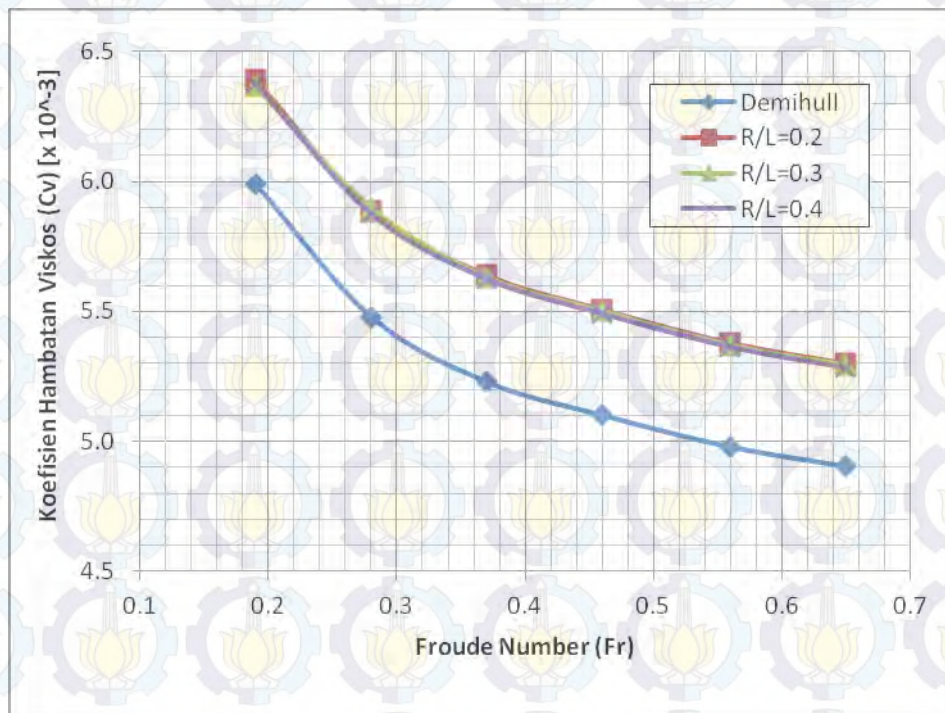
Tabel 5.17. Data Koefisien Hambatan Katamaran Tak Sejajar S/L = 0.4 R/L=0.4

Fr	R_v	C_v (x 10⁻³)	C_F (x 10⁻³)	(1+ βk)	β
0.19	0.754	6.168	4.931	1.251	1.167
0.28	1.562	5.700	4.516	1.262	1.229
0.37	2.658	5.452	4.251	1.283	1.229
0.46	4.035	5.318	4.063	1.309	1.211
0.56	5.687	5.189	3.916	1.325	1.200
0.65	7.613	5.109	3.799	1.345	1.188

Bab 6. ANALISA DAN PEMBAHASAN

6.1. Analisa Hambatan Viskos Katamaran Tak Sejajar

Salah satu komponen hambatan yang berpengaruh terhadap besarnya hambatan total adalah hambatan viskos. Dari gambar grafik 6.1. dan 6.2 memperlihatkan pengaruh jarak secara membujur (R/L) signifikan terhadap nilai koefisien hambatan viskos.

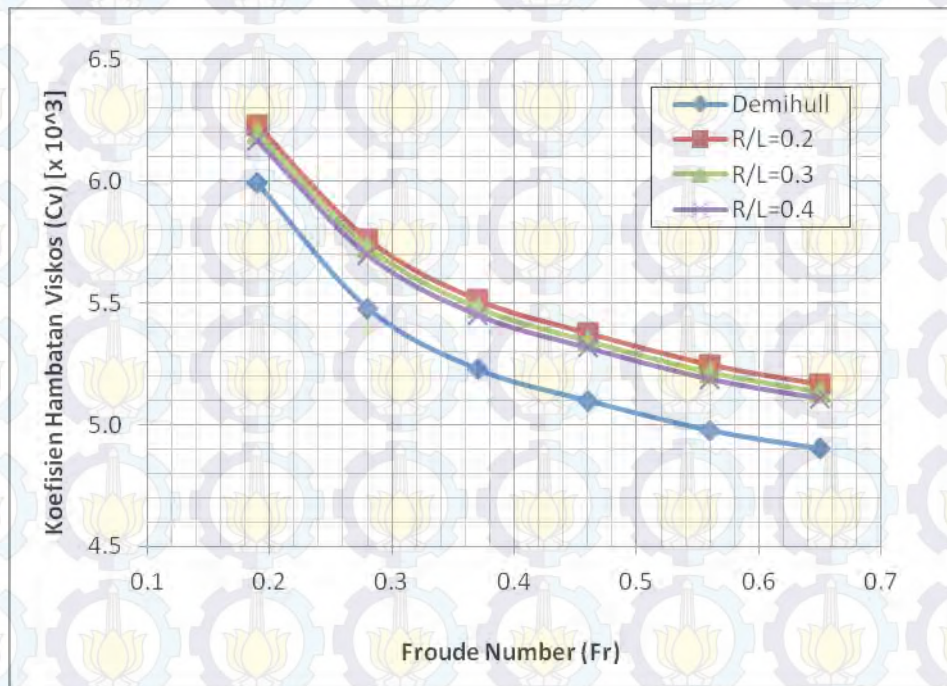


Gambar 6.1. Hambatan Viskos Lambung Katamaran Tak Sejajar dengan $S/L=0.2$ dan variasi R/L

Semakin besar jarak lambung secara membujur (R/L) maka akan semakin kecil koefisien hambatannya. Disamping itu, semakin besar jarak lambung secara melintang (S/L) maka semakin kecil efek hambatan untuk masing-masing rasio (R/L).

Besarnya hambatan viskos dipengaruhi oleh beberapa faktor. Besarnya hambatan viskos seiring dengan penambahan kecepatan kapal akan semakin rendah. Hal ini disebabkan hambatan viskos dipengaruhi oleh beberapa hal seperti hambatan gesek, interferensi hambatan gesek dan interferensi hambatan bentuk antar lambung katamaran. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Armstrong (2003) bahwa besarnya

hambatan viskos disebabkan oleh efek interferensi yang ditimbulkan antara kedua lambung.



Gambar 6.2. Hambatan Viskos Katamaran Tak Sejajar dengan $S/L = 0.4$ dan variasi R/L

Perubahan jarak pisah antar lambung katamaran berpengaruh terhadap pembentukan interferensi hambatan gesek kapal. Jarak pisah demihull yang semakin besar baik secara melintang dan memanjang akan menyebabkan interferensi yang terjadi akan semakin kecil. Dan sebaliknya ketika jarak lambung semakin dekat atau dengan kata lain rasio S/L dan R/L nya semakin kecil maka interferensi yang dihasilkan jadi semakin besar. Interferensi hambatan gesek juga terjadi karena adanya peningkatan kecepatan aliran fluida disekitar badan kapal seiring dengan penambahan kecepatan kapal. Semakin kecil jarak pisah lambung maka kemungkinan pertemuan gelombang yang dihasilkan oleh kedua lambung kapal semakin besar. Akibat gelombang dari satu lambung mencapai lambung lainnya, membuat luas bidang basah menjadi berubah sehingga memberikan nilai perubahan pada hambatan gesek (*skin friction*). Hal ini menyebabkan semakin tinggi kecepatan kapal maka hambatan gesek kapal akan semakin rendah.

6.2. Analisa Form Factor Demihull dengan Katamaran Tak Sejajar

Hasil pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan CFD-Ansys CFX diperlihatkan pada tabel 6.1 dan 6.2. Besarnya perbedaan *form factor* yang dihasilkan oleh masing-masing bentuk lambung memperlihatkan adanya pengaruh interferensi viskos yang dihasilkan oleh setiap bentuk badan kapal. Hasil ini sesuai dengan pengujian yang dilakukan oleh Molland (1994, 1996) dimana *form factor* katamaran akan lebih besar dibandingkan dengan demihull.

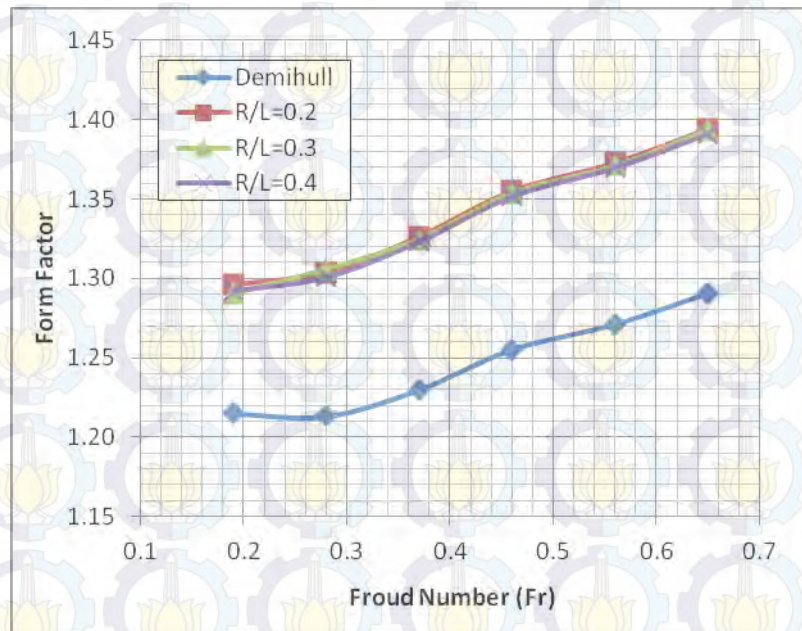
Tabel 6.1. Perbedaan Prosentase Form Factor Demihull dan Katamaran tak sejajar $S/L=0.2$ dengan variasi R/L

(1+k)	(1+bk)			Persentase catamaran dengan demihull (%)		
Demihull	$S/L = 0.2$			$S/L = 0.2$		
	$R/L = 0.2$	$R/L = 0.3$	$R/L = 0.4$	$R/L = 0.2$	$R/L = 0.3$	$R/L = 0.4$
1.215	1.296	1.291	1.292	6.255	1.258	5.993
1.213	1.304	1.306	1.301	6.934	1.269	6.746
1.230	1.326	1.325	1.323	7.267	1.289	7.067
1.255	1.355	1.354	1.352	7.368	1.315	7.160
1.271	1.373	1.371	1.370	7.423	1.331	7.227
1.290	1.394	1.393	1.391	7.450	1.351	7.250

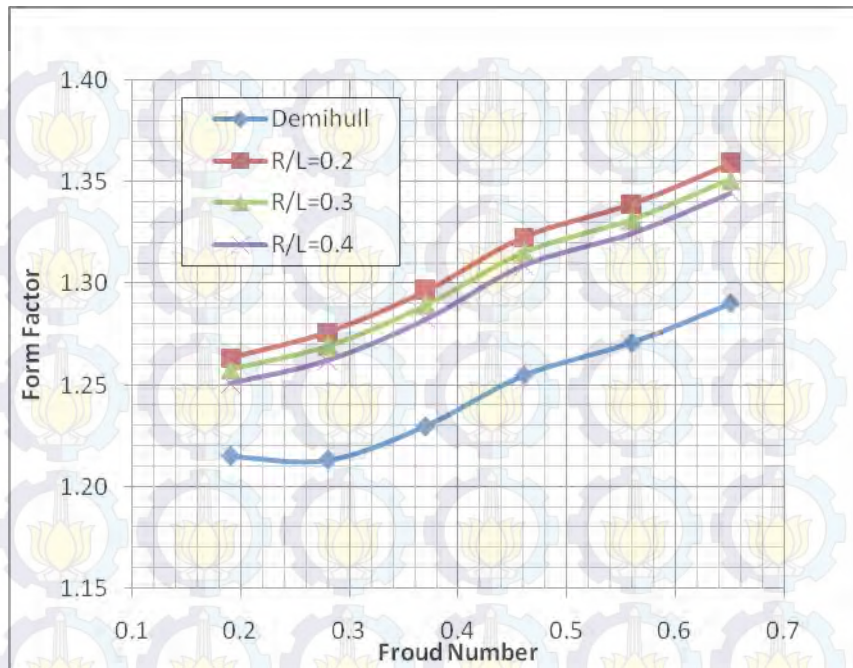
Tabel 6.2. Perbedaan Prosentase Form Factor Demihull dan Katamaran tak sejajar $S/L = 0.4$ dengan variasi R/L

(1+k)	(1+bk)			Persentase catamaran dengan demihull (%)		
Demihull	$S/L = 0.4$			$S/L = 0.4$		
	$R/L = 0.2$	$R/L = 0.3$	$R/L = 0.4$	$R/L = 0.2$	$R/L = 0.3$	$R/L = 0.4$
1.215	1.263	1.258	1.251	3.832	3.395	2.868
1.213	1.276	1.269	1.262	4.914	4.417	3.874
1.230	1.296	1.289	1.283	5.141	4.626	4.110
1.255	1.323	1.315	1.309	5.131	4.586	4.106
1.271	1.339	1.331	1.325	5.101	4.550	4.082
1.290	1.359	1.351	1.345	5.060	4.503	4.049

Pada gambar 6.3. dan 6.4. memperlihatkan besarnya *form factor* yang dihasilkan oleh demihull (*monohull*) dan katamaran dalam hal ini katamaran tak sejajar. Pada gambar tersebut terlihat bahwa besarnya *form factor* dipengaruhi oleh besarnya kecepatan kapal yang digunakan dan bentuk kapal yang digunakan. Semakin besar kecepatan yang digunakan maka semakin besar pula *form factor* yang dihasilkan.



Gambar 6.3. Perbandingan *Form Factor* Demihull dan Katamaran Tak Sejajar dengan $S/L=0.2$ dan variasi R/L



Gambar 6.4. Perbandingan *Form Factor* Demihull dan Katamaran Tak Sejajar dengan $S/L=0.4$ dan variasi R/L

6.3. Perbandingan CFD dan Eksperimen Hambatan Katamaran Tak Sejajar

Pengujian melalui tangki percobaan pada katamaran Tak Sejajar dilakukan di kolam pengujian Laboratorium Hidrodinamika Indonesia (LHI) oleh Jamaluddin, Utama dan Molland (2010). Kolam pengujian di LHI mempunyai dimensi panjang 240 m, lebar 11 m dan kedalaman 5,5 m. Ukuran model kapal pada tangki percobaan disajikan pada tabel 6.3. Ukuran model kapal untuk simulasi model kapal dikomputer dibuat sama dengan model kapal untuk tangki percobaan.

Tabel 6.3. Data ukuran model tangki percobaan dan CFD

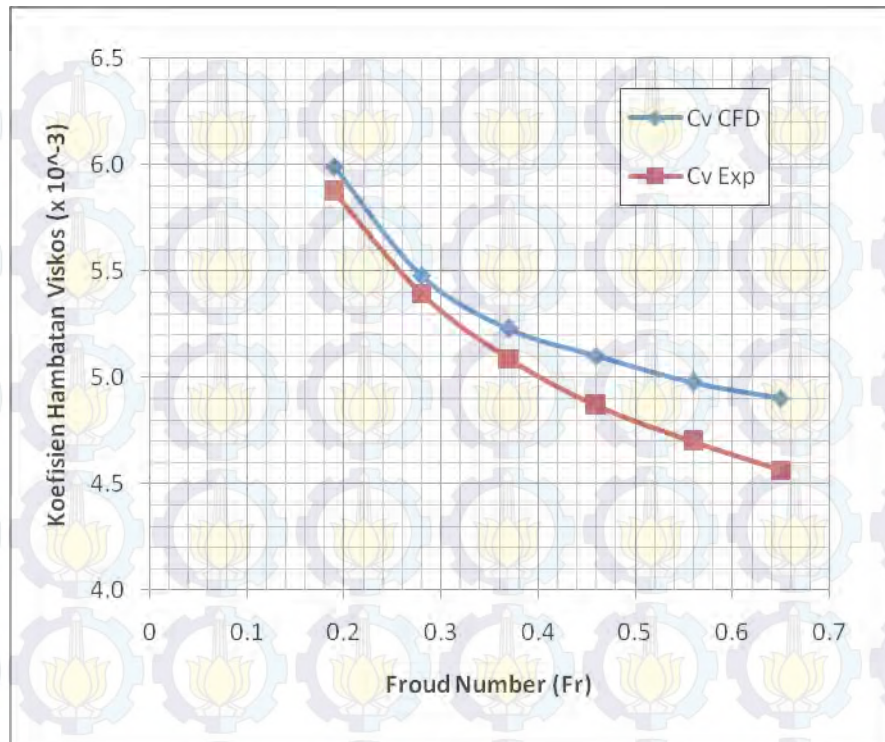
Parameter	Demihull	Katamaran Tak Sejajar	Satuan
Lwl	1.372	1.372	m
B	0.132	-	m
T	0.078	0.078	m
WSA	0.2559	0.5206	m^2
$Volume$	0.007	0.014	m^3
$Displasmen$	7.0233	14.0439	kg

Penentuan besarnya hambatan kapal dapat dilakukan melalui beberapa cara yaitu perhitungan secara analitik (teoritik), pengujian model pada tangki percobaan (eksperimen) dan menggunakan simulasi model kapal dikomputer (simulasi numerik). Pengujian melalui tangki percobaan perlu dilakukan untuk tahap perkiraan besarnya daya mesin kapal yang dibutuhkan. Hasil yang akurat dapat diperoleh dari hasil pengujian tangki tetapi besarnya biaya perlu dikeluarkan untuk melakukan pengujian model pada tangki percobaan. Pengujian menggunakan simulasi model kapal dikomputer dapat menekan besarnya biaya yang dibutuhkan dari pengujian tangki.

Proses verifikasi perlu dilakukan untuk pengujian model kapal melalui komputer. Verifikasi merupakan terminologi untuk menunjukkan tingkat kebenaran dari simulasi yang dilakukan. Untuk menentukan tingkat kevalidan, dapat dilakukan dengan beberapa metode yaitu memastikan semua *boundary condition* dan inisialisasi telah sesuai dengan teori dan kasus yang ditinjau serta dengan cara membandingkan dengan sebuah acuan/standart yang telah ada dengan referensi yang jelas. Verifikasi pengujian komputer dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian simulasi model kapal dikomputer dengan pengujian model kapal pada kolam pengujian.

Pada gambar 6.5. memperlihatkan hasil simulasi numerik hambatan viskos CFD-Ansys CFX dan eksperimen dari demihull katamaran tak sejajar. Pada $Fr = 0.19$, hambatan viskos antara CFD dan eksperimen hampir sama meskipun terdapat perbedaan yang sangat kecil dengan prosentase perbedaan sebesar 1.96%.

Penggunaan jumlah grid yang sama untuk pengujian CFD berpengaruh terhadap besar hasil selanjutnya. Penambahan kecepatan dengan $Fr = 0.28$ memberikan prosentase perbedaan yang semakin kecil antara hasil CFD dan eksperimen dengan prosentase perbedaan sebesar 1.55%. Penambahan prosentase perbedaan justru semakin besar pada $Fr = 0.37$ yaitu dengan prosentase penambahan sebesar 2.67%. Dan selanjutnya perbedaan semakin membesar seiring dengan penambahan kecepatan selanjutnya, yaitu pada $Fr = 0.46$ dan $Fr = 0.56$, perbedaan prosentase masing-masing adalah 4.51% dan 5.58%. Prosentase perbedaan terbesar ditunjukkan pada bilangan Froude $Fr = 0.65$. Pada kecepatan ini, prosentase perbedaan antara hasil CFD dan eksperimen adalah sebesar 6.91%.

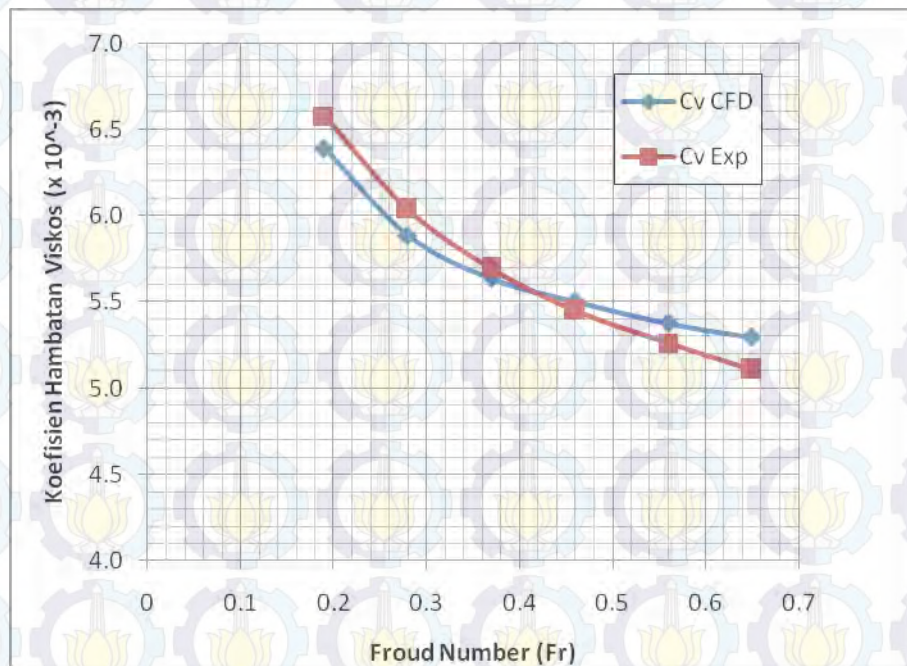


Gambar 6.5. Perbandingan CFD dan Eksperimen Hambatan Viskos antara Demihull dan Katamaran Tak Sejajar.

Gambar 6.6. memperlihatkan hasil simulasi numerik CFD-Ansys CFX dan eksperimen dari katamaran tak sejajar pada $S/L = 0.2$. dan $R/L=0.2$. Pada $Fr = 0.19$, hambatan viskos dari simulasi CFD dibawah hasil eksperimen dengan prosentase perbedaan sebesar -2.93%. Prosentase perbedaan hasil CFD dan eksperimen semakin kecil dan mendekati hasil eksperimen seiring dengan penambahan kecepatan yang digunakan yaitu pada $Fr = 0.28$ dan $Fr = 0.37$ yang menunjukkan prosentase perbedaan sebesar -2.59 dan -1.05%. Pada $Fr = 0.46$, hasil simulasi CFD sudah mulai lebih besar dari hasil eksperimen yaitu 0.94%. Perbedaan semakin besar seiring bertambahnya kecepatan kapal pada $Fr = 0.56$ dan $Fr = 0.65$ yaitu sebesar 2.1% dan 3.54%.

Hasil simulasi menggunakan CFD pada kecepatan rendah dengan Fr 0.19- Fr 0.37 menghasilkan nilai yang lebih kecil dari hasil uji eksperimen. Sedangkan pada Fr 0.46- Fr 0.65 nilai hambatan viskos yang dihasilkan sudah lebih besar dari hasil uji eksperimen. Simulasi dengan menggunakan CFD jelas sangat berbeda dengan uji eksperimen di towing tank. Pada CFD adanya asumsi-asumsi untuk mendefinisikan model yang memungkinkan hasil lebih kecil dari uji di towing tank. Contohnya saja adalah masa jenis air yang diasumsikan air murni yang memiliki masa jenis $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$ sedangkan air yang

digunakan pada uji di towing tank bukanlah air murni yang cenderung tercampur dengan banyak polutan yang bisa menyebabkan masa jenis airnya menjadi lebih besar sehingga

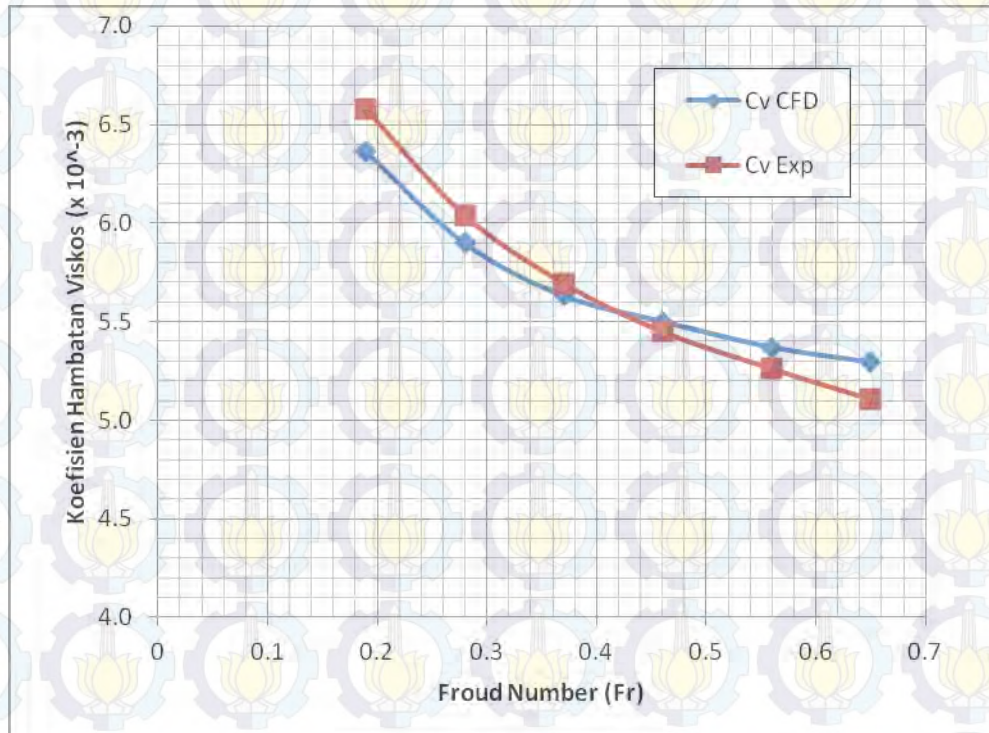


Gambar 6.6. Perbandingan CFD dan Experiment Hambatan Viskos Katamaran tak sejajar pada $S/L = 0.2$ dan $R/L=0.2$

hambatan yang dihasilkan pada uji towing tank bisa lebih besar dari uji eksperimen. Kemudian pada Fr dimana nilai hambatan yang dihasilkan jadi lebih besar dari hasil uji ditowing tank adalah bahwa simulasi CFD diasumsikan badan yang tercelup air adalah konstan. Sedangkan pada uji di towing tank kecenderungan model kapal apabila kecepatan semakin bertambah maka daerah permukaan basah yang tercelup air semakin kecil karena adanya gaya angkat yang semakin besar. Dengan luas permukaan basah yang semakin kecil, gaya gesek yang dihasilkan pun jadi semakin kecil yang sangat mempengaruhi besarnya hambatan viskos.

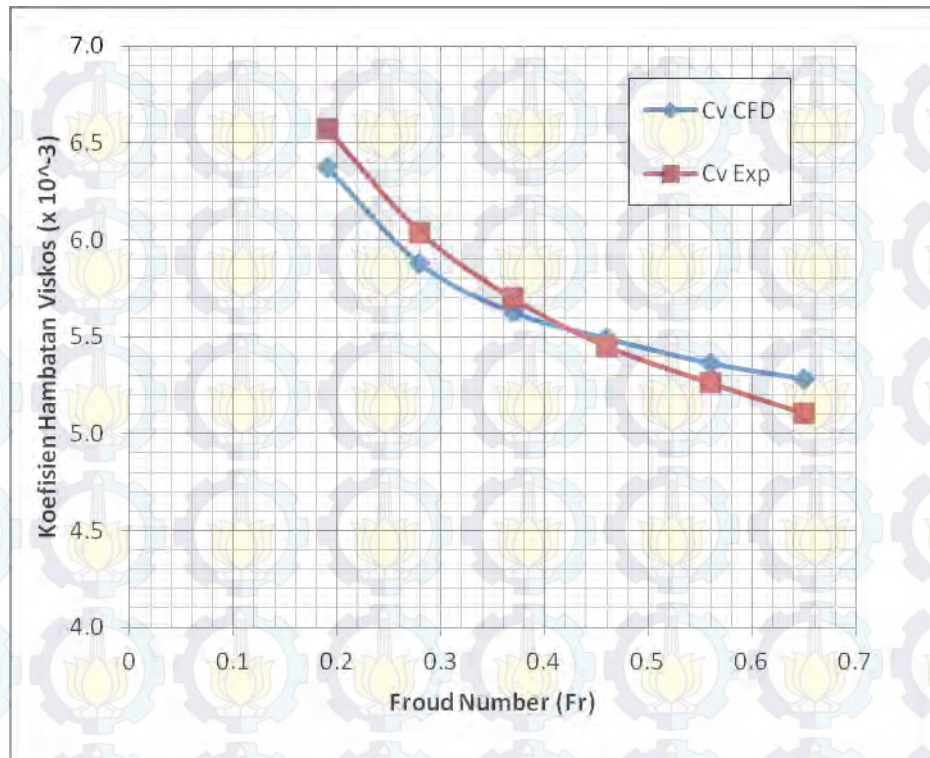
Pada gambar 6.7. memperlihatkan hasil simulasi numerik CFD-Ansys CFX dan eksperimen dari katamaran tak sejajar pada $S/L = 0.2$. dan $R/L = 0.3$. Pada $Fr = 0.19$, hambatan viskos dari simulasi CFD dibawah hasil eksperimen dengan prosentase perbedaan sebesar -3.31%. Prosentase perbedaan hasil CFD dan eksperimen semakin kecil dan mendekati hasil eksperimen seiring dengan penambahan kecepatan yang digunakan

yaitu pada $Fr = 0.28$ dan $Fr = 0.37$ yang menunjukkan prosentase perbedaan sebesar -2.39% dan -1.13%. Pada $Fr = 0.46$, hasil simulasi CFD sudah mulai lebih besar dari hasil eksperimen yaitu 0.88%. Perbedaan semakin besar seiring bertambahnya kecepatan kapal pada $Fr = 0.56$ dan $Fr = 0.65$ yaitu sebesar 1.98% dan 3.49%.



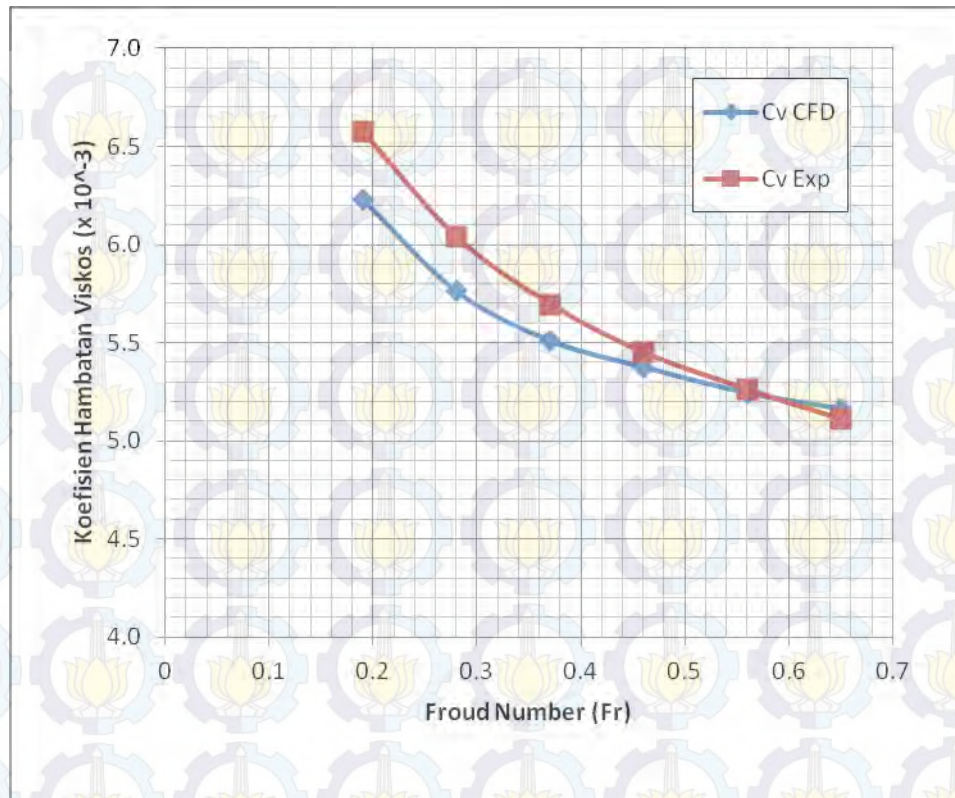
Gambar 6.7. Perbandingan CFD dan Experiment Hambatan Viskos Katamaran tak sejajar pada $S/L = 0.2$ dan $R/L=0.3$

Pada gambar 6.8 memperlihatkan hasil simulasi numerik CFD-Ansys CFX dan eksperimen dari katamaran tak sejajar pada $S/L = 0.2$. dan $R/L = 0.4$. Pada $Fr = 0.19$, hambatan viskos dari simulasi CFD dibawah hasil eksperimen dengan prosentase perbedaan sebesar -3.17%. Prosentase perbedaan hasil CFD dan eksperimen semakin kecil dan mendekati hasil eksperimen seiring dengan penambahan kecepatan yang digunakan yaitu pada $Fr = 0.28$ dan $Fr = 0.37$ yang menunjukkan prosentase perbedaan sebesar -2.80% dan -1.27%. Pada $Fr = 0.46$, hasil simulasi CFD sudah mulai lebih besar dari hasil eksperimen yaitu 0.75%. Perbedaan semakin besar seiring bertambahnya kecepatan kapal pada $Fr = 0.56$ dan $Fr = 0.65$ yaitu sebesar 1.91% dan 3.39%.



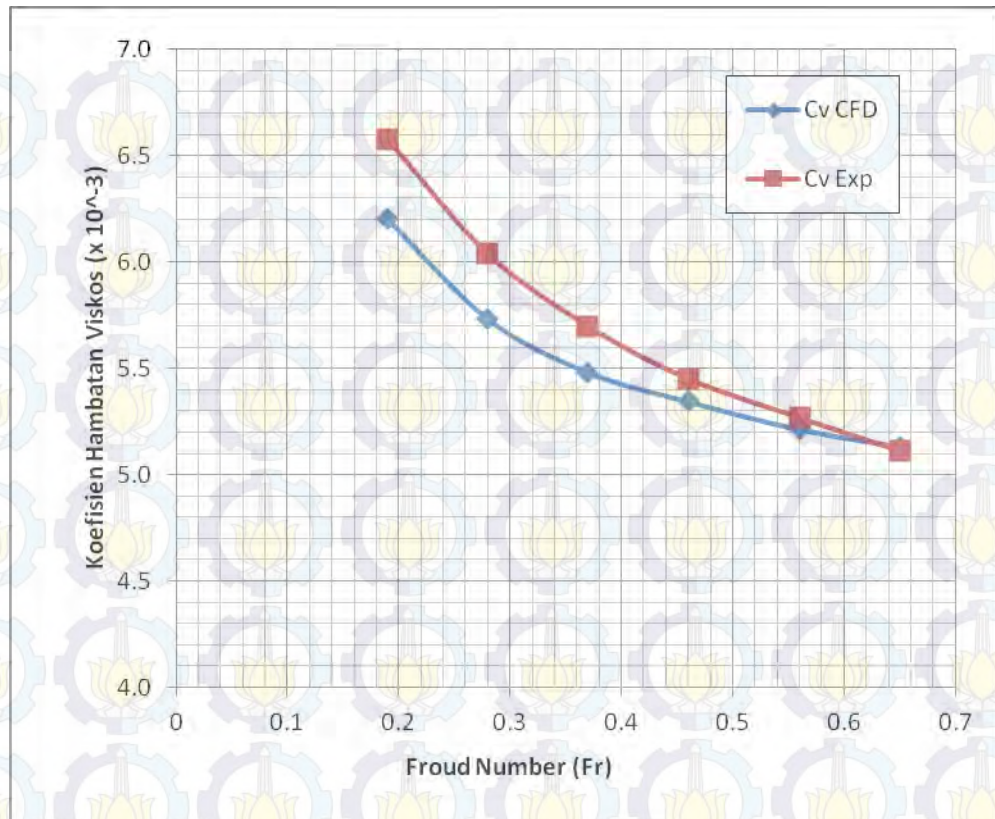
Gambar 6.8. Perbandingan CFD dan Experiment Hambatan Viskos Katamaran tak sejajar pada $S/L = 0.2$ dan $R/L = 0.4$

Pada gambar grafik 6.9 memperlihatkan hasil simulasi numerik CFD-Ansys CFX dan eksperimen dari katamaran tak sejajar pada $S/L = 0.4$. dan $R/L = 0.2$. Pada $Fr = 0.19$, hambatan viskos dari simulasi CFD dibawah hasil eksperimen dengan prosentase perbedaan sebesar -5.52%. Prosentase perbedaan hasil CFD dan eksperimen semakin kecil dan mendekati hasil eksperimen seiring dengan penambahan kecepatan yang digunakan yaitu pada $Fr = 0.28, 0.37, 0.46$, dan 0.56 yang menunjukkan prosentase perbedaan berturut-turut sebesar -4.80%, -3.35%, -1.39%, dan -0.31%. Pada kecepatan $Fr = 0.65$, hasil simulasi CFD sudah lebih besar dari hasil eksperimen yaitu 1.05%.



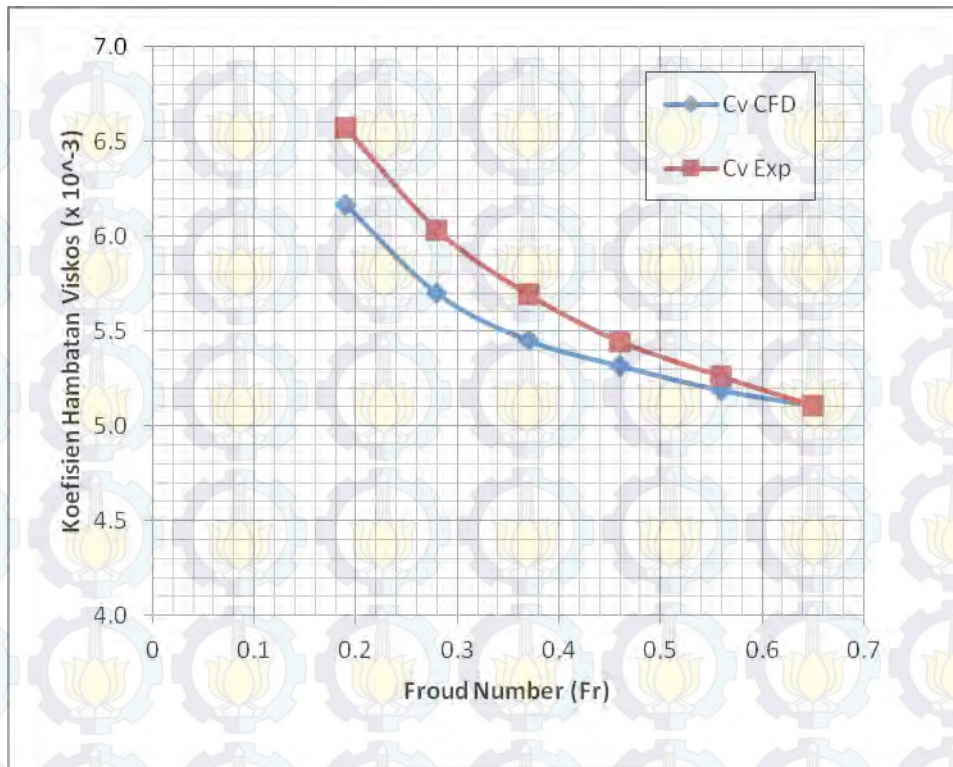
Gambar 6.9. Perbandingan CFD dan Experiment Hambatan Viskos Katamaran tak sejajar pada $S/L = 0.4$ dan $R/L = 0.2$

Gambar 6.10 memperlihatkan hasil simulasi numerik CFD-Ansys CFX dan eksperimen dari katamaran tak sejajar pada $S/L = 0.4$ dan $R/L = 0.3$. Pada $Fr = 0.19$, hambatan viskos dari simulasi CFD dibawah hasil eksperimen dengan prosentase perbedaan sebesar -6.04%. Prosentase perbedaan hasil CFD dan eksperimen semakin kecil dan mendekati hasil eksperimen seiring dengan penambahan kecepatan yang digunakan yaitu pada $Fr = 0.28, 0.37, 0.46$, dan 0.56 yang menunjukkan prosentase perbedaan berturut-turut sebesar -5.33%, -3.93%, -1.95%, dan -0.99%. Pada kecepatan $Fr = 0.65$, hasil simulasi CFD sudah lebih besar dari hasil eksperimen yaitu 0.45%.



Gambar 6.10. Perbandingan CFD dan Experiment Hambatan Viskos Katamaran tak sejajar pada $S/L = 0.4$ dan $R/L=0.3$

Dan terakhir gambar 6.11 memperlihatkan hasil simulasi numerik CFD-Ansys CFX dan eksperimen dari katamaran tak sejajar pada $S/L = 0.4$. dan $R/L = 0.4$. Pada $Fr = 0.19$, hambatan viskos dari simulasi CFD dibawah hasil eksperimen dengan prosentase perbedaan sebesar -6.53%. Prosentase perbedaan hasil CFD dan eksperimen semakin kecil dan mendekati hasil eksperimen seiring dengan penambahan kecepatan yang digunakan yaitu pada $Fr = 0.28, 0.37, 0.46$, dan 0.56 yang menunjukkan prosentase perbedaan berturut-turut sebesar -5.86%, -4.42%, -2.41%, dan -1.39%. Pada kecepatan $Fr = 0.65$, hasil simulasi CFD sudah lebih besar dari hasil eksperimen yaitu 0.016%.



Gambar 6.11. Perbandingan CFD dan Experiment Hambatan Viskos Katamaran tak sejajar pada $S/L = 0.4$ dan $R/L=0.4$

6.4. Interferensi Hambatan Viskos

Nilai faktor interferensi hambatan viskos katamaran tak sejajar dan lambung demi dihitung berdasar persamaan 6.1 berikut :

$$IF_{VISCIOUS} = \frac{C_{V_{CAT}}}{C_{V_{DEMI}}} = \frac{[(1 + \beta k) C_F]_{CAT}}{[(1 + k) C_F]_{DEMI}} \quad 6.1$$

Berikut adalah faktor interferensi hambatan viskos katamaran tak sejajar yang disajikan pada tabel 6.4 - tabel 6.7 yang didapat dari hasil eksperimen di towing tank dan simulasi CFD.

Tabel 6.4. Faktor Interferensi Viskos Katamaran Tak Sejajar dari Eksperimen di Towing Tank S/L= 0.2

Fr	S/L= 0.2		
	R/L= 0.2	R/L= 0.3	R/L= 0.4
0.19	1.12004	1.11970	1.11953
0.28	1.11976	1.11976	1.11976
0.37	1.11969	1.11950	1.11969
0.46	1.11994	1.11974	1.11953
0.56	1.11981	1.12003	1.11981
0.65	1.11966	1.11966	1.11900

Sumber: Jamaluddin, 2012

Tabel 6.5. Faktor Interferensi Viskos Katamaran Tak Sejajar dari Eksperimen di Towing Tank Untuk S/L= 0.4

Fr	S/L= 0.4		
	R/L= 0.2	R/L= 0.3	R/L= 0.4
0.19	1.11936	1.11970	1.11885
0.28	1.11958	1.11939	1.11865
0.37	1.11950	1.11969	1.11891
0.46	1.11933	1.11912	1.11850
0.56	1.11960	1.12066	1.11960
0.65	1.11966	1.11988	1.11944

Sumber: Jamaluddin, 2012

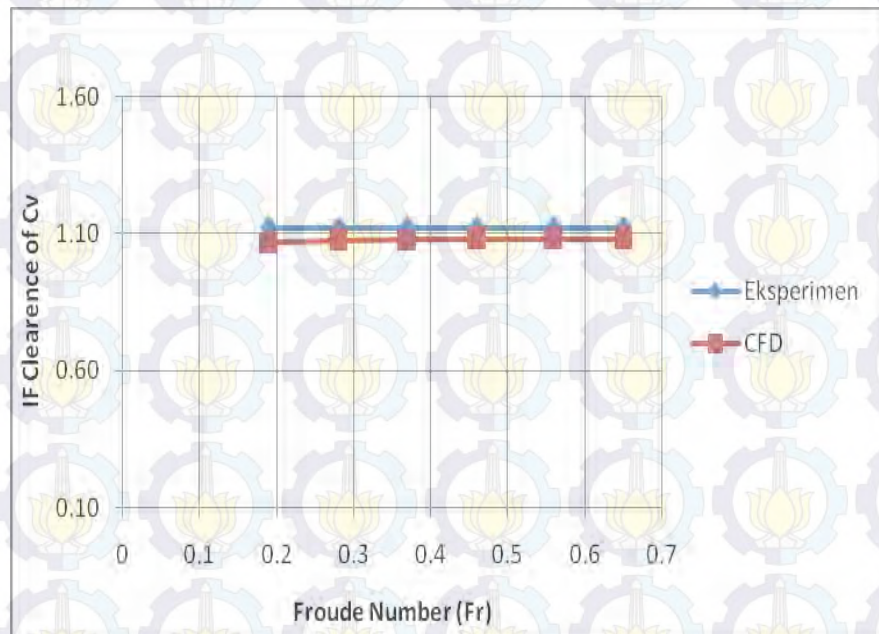
Tabel 6.6. Faktor Interferensi Viskos Katamaran Tak Sejajar dari Simulasi CFD Untuk
S/L= 0.2

Fr	S/L= 0.2		
	R/L= 0.2	R/L= 0.3	R/L= 0.4
0.19	1.06673	1.06246	1.06375
0.28	1.07451	1.07661	1.07234
0.37	1.07837	1.07731	1.07604
0.46	1.07954	1.07877	1.07712
0.56	1.08018	1.07888	1.07790
0.65	1.08050	1.07995	1.07817

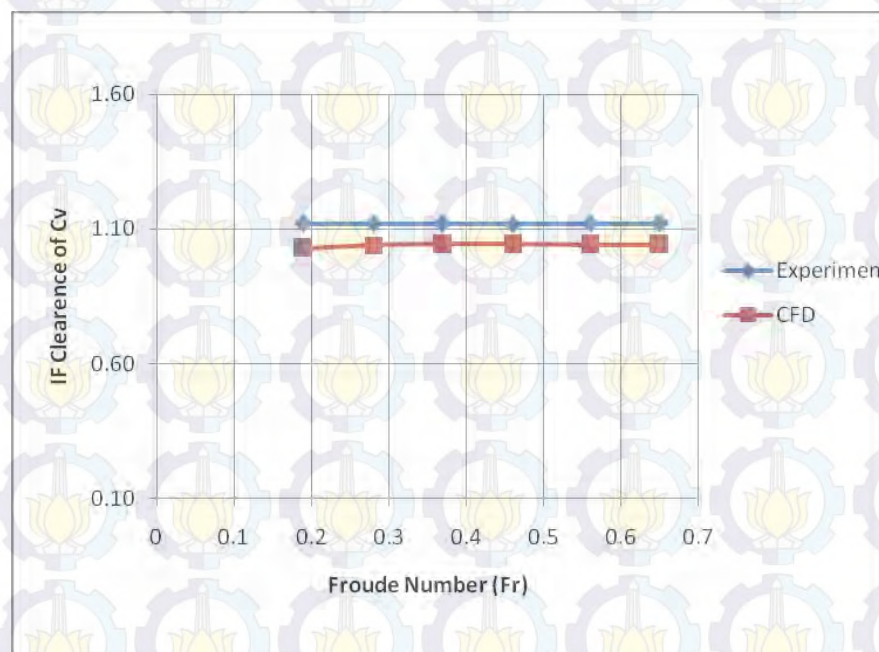
Tabel 6.7. Faktor Interferensi Viskos Katamaran Tak Sejajar Simulasi CFD Untuk
S/L= 0.4

Fr	S/L= 0.4		
	R/L= 0.2	R/L= 0.3	R/L= 0.4
0.19	1.03985	1.03514	1.02953
0.28	1.05168	1.04621	1.04030
0.37	1.05420	1.04851	1.04286
0.46	1.05408	1.04806	1.04281
0.56	1.05376	1.04767	1.04256
0.65	1.05329	1.04715	1.04219

Berikutnya perbandingan hasil faktor interferensi katamaran tak sejajar dari hasil eksperimen dan simulasi CFD disajikan pada gambar grafik 6.12 dan 6.13.

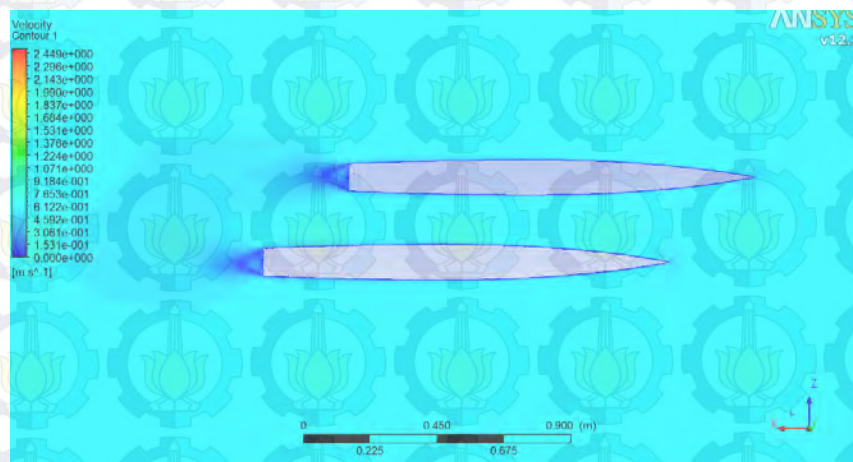


Gambar 6.12. Perbandingan faktor interferensi exp dan CFD untuk $S/L=0.2$ dan $R/L=0.2$

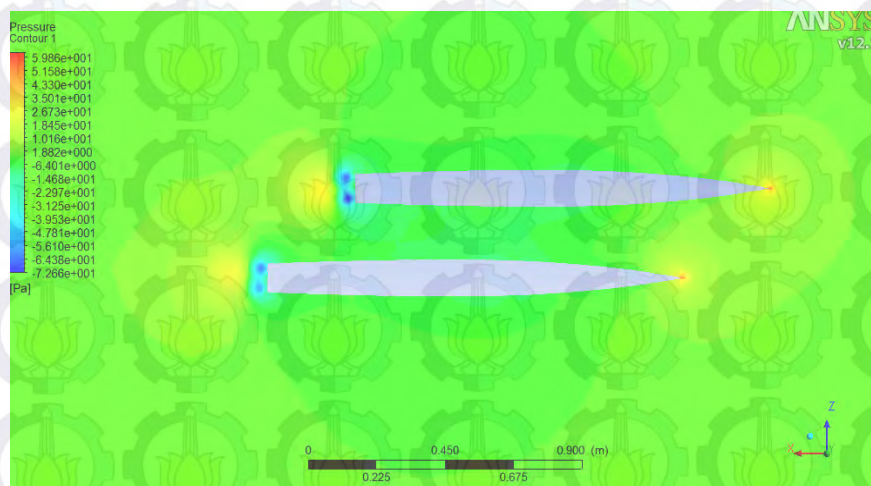


Gambar 6.13. Perbandingan faktor interferensi exp dan CFD untuk $S/L=0.4$ dan $R/L=0.4$

Perbandingan hasil faktor interferensi viskos dari hasil eksperimen dan simulasi CFD berkisar antara -3.624% dan -8.676%. Dari perbandingan tersebut memiliki nilai rata-rata perbedaan -5.59%. Perbedaan persentase antara eksperimen dan CFD ini cukup kecil sehingga bisa dipastikan bahwa interferensi viskos juga terjadi pada simulasi CFD.. Interferensi viskos terjadi akibat fenomena perubahan kecepatan aliran dan tekanan yang terjadi disekitar model baik di antara lambung dan diluar lambung. Visualisasi interferensi viskos yang terjadi pada simulasi seperti ditunjukkan pada gambar 6.14 dan 6.15



Gambar 6.14. Visualisasi perubahan kecepatan aliran



Gambar 6.15. Visualisasi perubahan tekanan

Visualisasi interferensi viskos pada $Fr=0.19$ -0.65 untuk berbagai variasi S/L dan R/L katamaran tak sejajar ini, lebih lengkapnya pada lampiran I halaman 71.

Perbedaan nilai faktor interferensi viskos ini disebabkan oleh nilai koefisien viskos (C_v) antara katamaran tak sejajar dengan demihull. Nilai koefisien viskos hasil eksperimen berbeda dengan hasil pada simulasi CFD. Banyak faktor yang menyebabkan perbedaan antara hasil eksperimen dan CFD ini. Pada CFD adanya asumsi untuk mendefinisikan model yang memungkinkan hasil lebih kecil dari uji di towing tank. Masa jenis air yang diasumsikan air murni, memiliki nilai masa jenis $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$ sedangkan air yang digunakan pada uji di towing tank bukanlah air murni yang cenderung tercampur dengan banyak polutan yang bisa menyebabkan masa jenis airnya menjadi lebih besar sehingga hambatan atau hasil interferensi yang dihasilkan pada uji towing tank bisa lebih besar dari uji eksperimen. Kemudian, hasil meshing yang kurang optimum juga akan mempengaruhi hasil dari pengujian CFD. Seperti yang sudah dibahas sebelumnya model dengan meshing yang baik adalah yang mendekati model sesungguhnya yang diujikan di towing tank. Akan sulit mendapatkan bentuk yang sama persis dengan model eksperimen sehingga kesalahan perhitungan pada CFD masih mungkin terjadi meskipun dalam skala yang kecil.

Bab 7. KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. Umum

Komponen hambatan lambung kapal katamaran memiliki fenomena yang lebih kompleks dibanding dengan monohull, sebab adanya pengaruh interferensi dan interaksi diantara dua lambung katamaran. Interferensi hambatan tersebut terdiri atas dua klasifikasi yaitu interferensi hambatan viskos dan interferensi hambatan gelombang. Interferensi hambatan viskos diakibatkan oleh terjadinya perubahan tekanan di sekitar kedua lambung (*demihull*) dan perubahan kecepatan aliran di antara lambung katamaran.

Dari analisa yang telah dilakukan untuk mengkaji besarnya hambatan viskos karena pengaruh jarak demihull maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pengaruh konfigurasi lambung secara melintang dan memanjang

Hambatan viskos katamaran tak sejajar sangat dipengaruhi oleh jarak pisah demihull secara melintang (S/L) dan memanjang (R/L). Besarnya hambatan viskos cenderung semakin kecil seiring dengan bertambah besarnya jarak (S/L) dan (R/L) karena interferensi viskos yang terjadi antar demihull akan semakin kecil ketika jarak semakin besar. Nilai hambatan viskos terkecil didapatkan pada nilai variasi S/L=0.4 dan R/L=0.4.

2. Perbedaan hasil eksperimen dan CFD

Hasil simulasi CFD-Ansys CFX menunjukkan nilai komponen hambatan yang relatif kecil, dengan persentase rata-rata -1.512%. Hasil ini cukup kecil sehingga hambatan viskos yang dihasilkan antara pengujian di towing tank dan simulasi CFD tidak jauh berbeda. Kemudian kesimpulan lainnya yang dapat ditarik adalah sebagai berikut :

- a. Perbedaan hasil eksperimen dan CFD ini diantaranya disebabkan oleh nilai koefisien hambatan viskos yang lebih kecil pada CFD disebabkan karena adanya asumsi bahwa masa jenis air adalah masa jenis air murni yang memiliki kekentalan (1000kg/m^3), sedangkan pada towing tank bukanlah air murni. Kemudian hasil pemodelan dan meshing pada CFD sebaik apapun yang dilakukan di komputer, tetap akan memiliki kesalahan akurasi bentuk model yang akan mempengaruhi hasil pada CFD.
- b. Penggunaan CFD dalam analisa hambatan katamaran memberikan hasil yang mendekati dengan eksperimen sehingga dapat digunakan sebagai alat untuk desainer kapal dalam tahap *preliminary design*.

- c. Semakin besar jarak pisah antar lambung demihull katamaran tak sejajar, baik secara melintang maupun memanjang akan menghasilkan kecenderungan nilai hambatan viskos yang lebih kecil
- d. Perbedaan persentase faktor interferensi viskos antara eksperimen dan CFD cukup kecil dengan nilai persentase rata-rata adalah -5.59%. Semakin dekat jarak antar demihull maka interaksi kecepatan dan tekanan yang terjadi akan semakin besar, sehingga hambatan viskos cenderung semakin besar pula.

7.2. Saran

Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan analisa hambatan total dan stabilitas dari katamaran tak sejajar untuk mengetahui kemampuan stabilitas kapal sehingga dapat mendukung penggunaan bentuk badan kapal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson Jr., J.D., (1995), *Computational Fluid Dynamics: The Basic with Application*, McGraw-Hill, Singapore.
- Amstrong, T., *The Effect of Demihull Separation On The Frictional Resistance Of Catamarans*, FAST, 2003
- Bardina, J.E., Huang, P.G., and Coakley, T.J., *Turbulence Modelling, Validation, Testing and Development*, NASA Technical Memorandum 110446, 1997.
- Bertram, V. (2000), *Practical Ship Hydrodynamics*, Butterworth-Heinemann, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK., pp. 74.
- CFX, CFX Manual VII, Ansys 2007
- Deng, R., Huang, D., Cheng, J.Li.X., and Yu, L., *Discussion of grid generation for catamaran resistance calculation*, Journal of marine Sci. Appl. (2010) 9: 187-191.
- Dinham, T.A., Craddock, C., Lebas, A., and Ganguly, A., *Use of CFD for hull form and appendage design assessment on a offshore patrol vessel and identification of a wake focusing effect*, RINA Marine CFD Conference, Southampton, UK., 2008.
- Dubrovsky V, Lyakhovitsky A, 2001, *Multi-Hull Ships*, Backbone Publishing Company, New York. USA.
- Hughes, G., 1954, *"Friction and form resistance in turbulent flow, and a proposed formulation for use in model and ship correlation"*. Transactions, Royal Institution of Naval Architects.
- Insel, M., and Molland, A.F., 1990, *"An Investigation into the Resistance Components of High-speed Displacement Catamarans"*. PhD thesis, University of Southampton.
- Jamaluddin, A., Utama, I.K.A.P. and Molland, A.F., *Experimental Investigation Into the Drag Characteristics of Symmetrical and Asymmetrical Staggered and Unstaggered Catamaran*, International Conference on Ship & Offshore Technology (ICSOT)-Indonesia 2010, Surabaya, 11- 12 November 2010.

Moraes, H.B., Vasconcellos, J.M., and Latorre, R.G., March 2004. *Wave resistance for high-speed catamarans*, Computer Networks and ISDN Systems 26, 6-8:711-719.

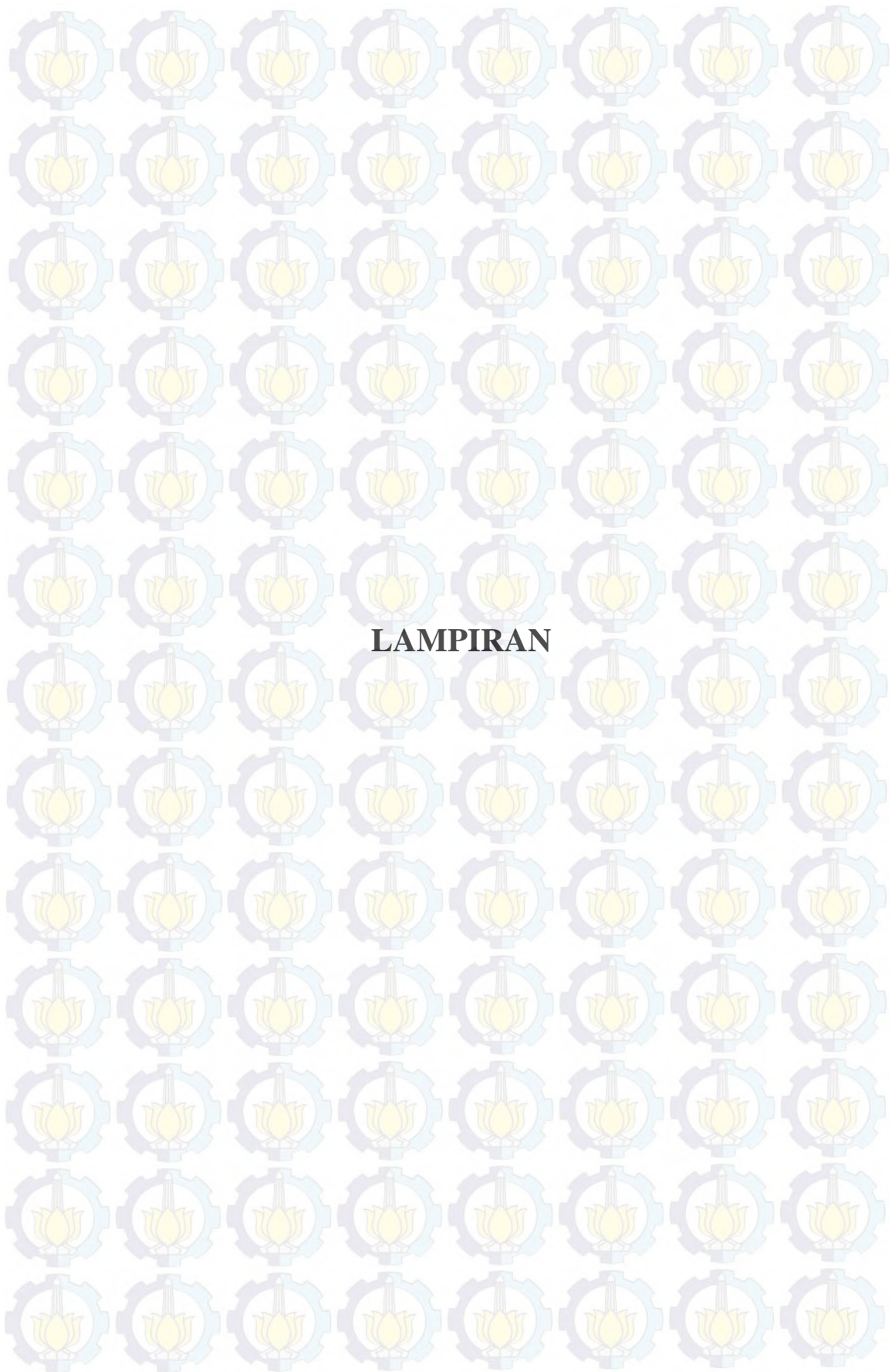
Niekerk, J., *Comparison of Catamaran Hull Type*, Issue of Power Multihulls Magazine, 2000

Thompson, J.F., Soni, B.K., and Weatherill, N.P., *Handbook of Grid Generation*, CRC Press., 1999.

Utama, I.K.A.P., Jamaluddin, A., Widodo, B., dan Aryawan, WD., *The use of free surface CFD modeling technique to predict catamaran resistance components*, Development in Marine CFD, IIT Madras, Chennai, India, 18-19 November, 2011

Utama, I.K.A.P. 1999, *An Investigation of the Viscous Resistance Components of Catamaran Forms*, PhD Thesis, Faculty of Engineering and Applied Science, University of Southampton, UK.

Utama, I.K.A.P dan Hantoro R. 2010. “*Computational Fluid Dynamic (CFD) dengan ANSYS CFX*”, ITS Surabaya.



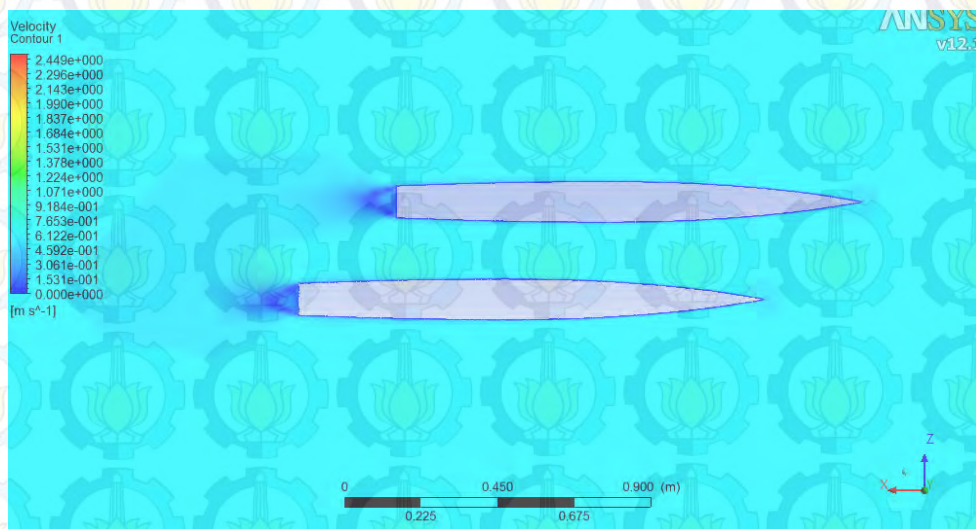
LAMPIRAN A

VISUALISASI KECAPATAN ALIRAN DAN TEKANAN

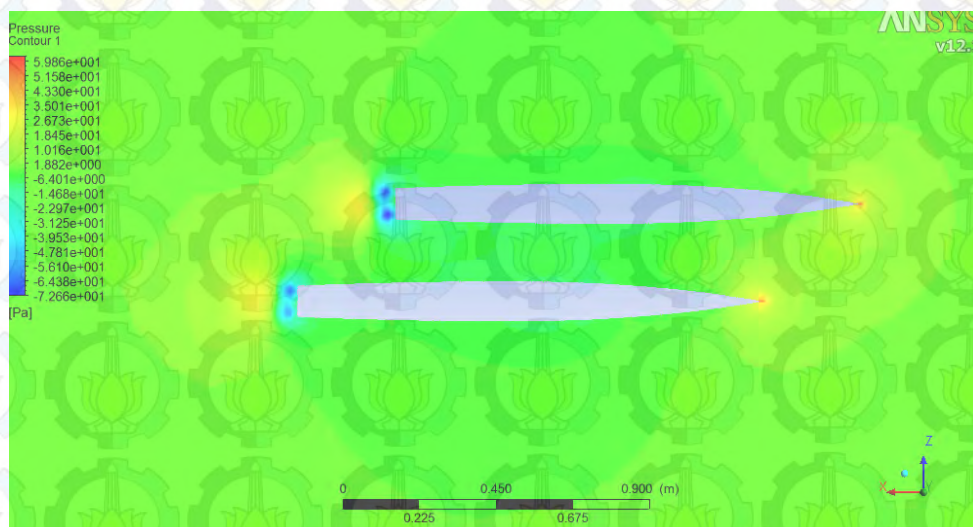
Pada lampiran ini ditampilkan gambar kontur kecepatan aliran dan tekanan yang terjadi disekitar badan kapal katamaran tak sejajar. Tampilan ini diperoleh melalui post processor cfd setelah dirunning melalui solver cfd. Melalui gambar kontur ini dapat dilihat lebih jelas fenomena interferensi kecepatan aliran dan tekanan.

Staggered Catamaran $S/L = 0.2$ $R/L = 0.2$

$Fr = 0.19$

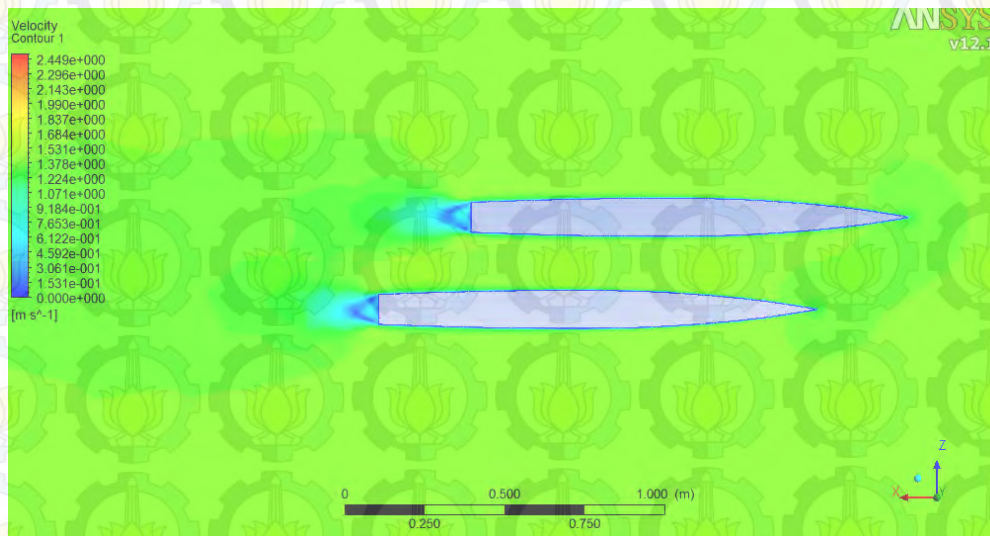


Visualisasi Kecepatan

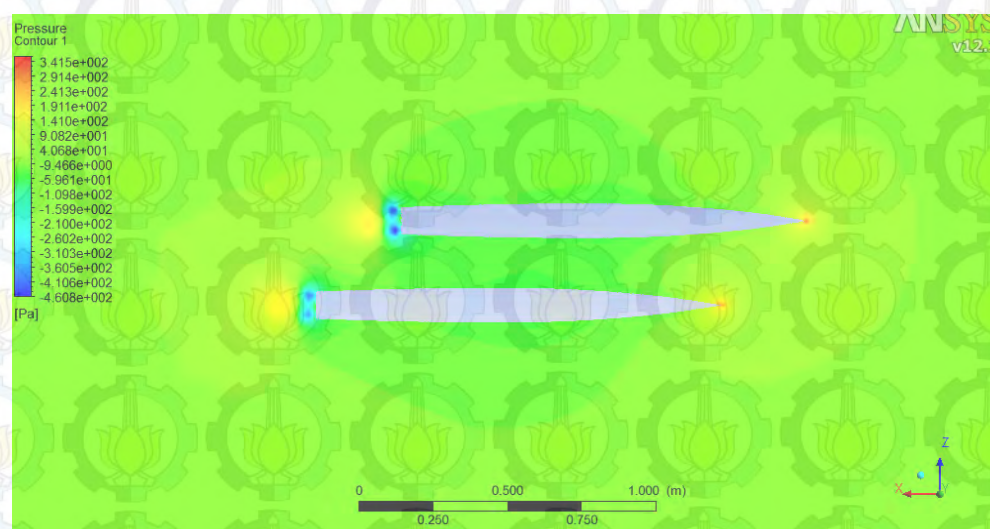


Visualisasi Tekanan

Fr= 0.46

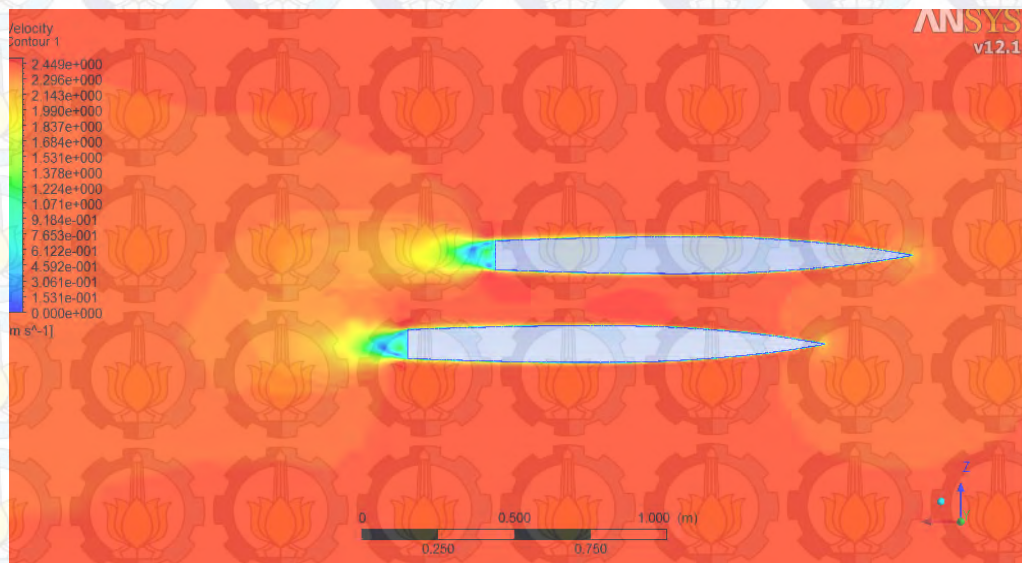


Visualisasi Kecepatan

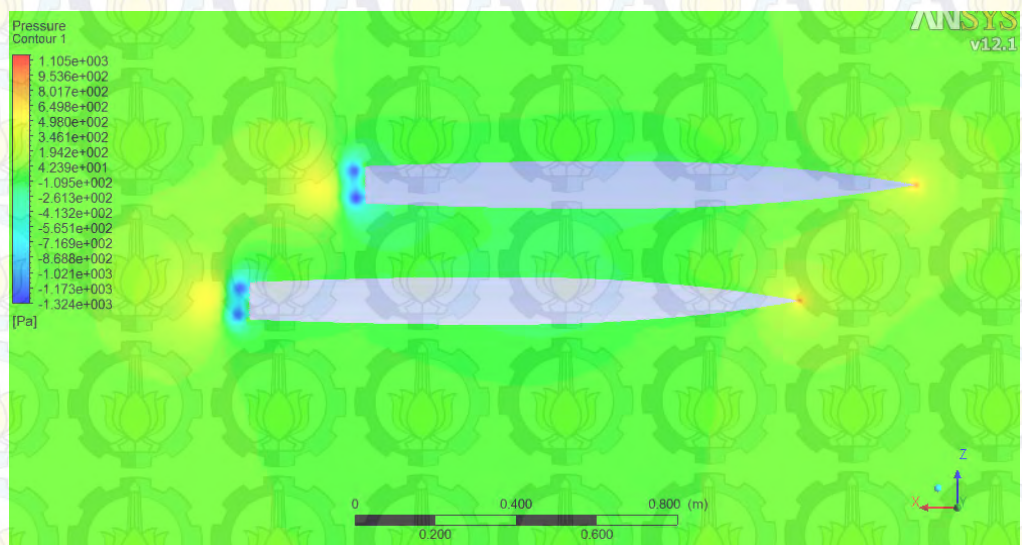


Visualisasi Tekanan

Fr= 0.65



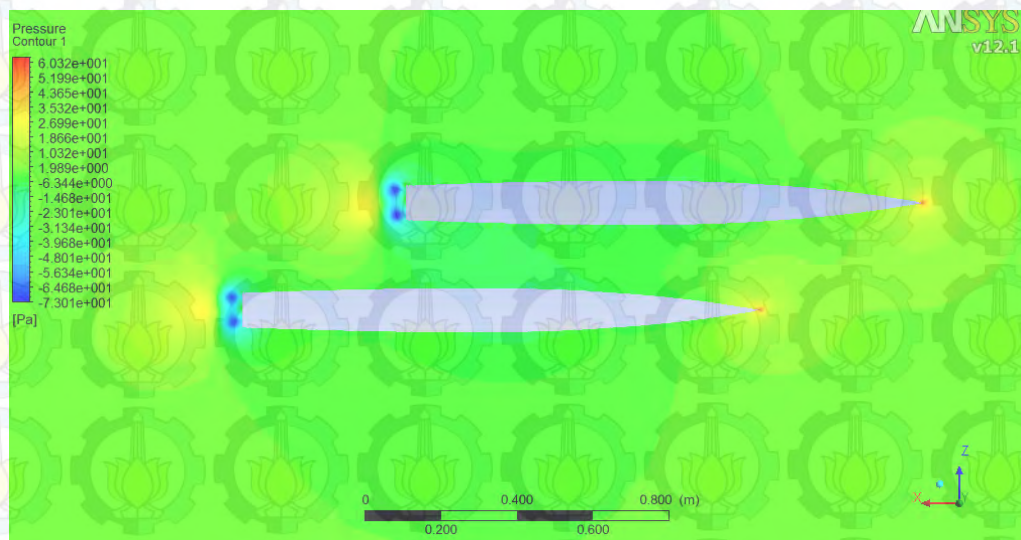
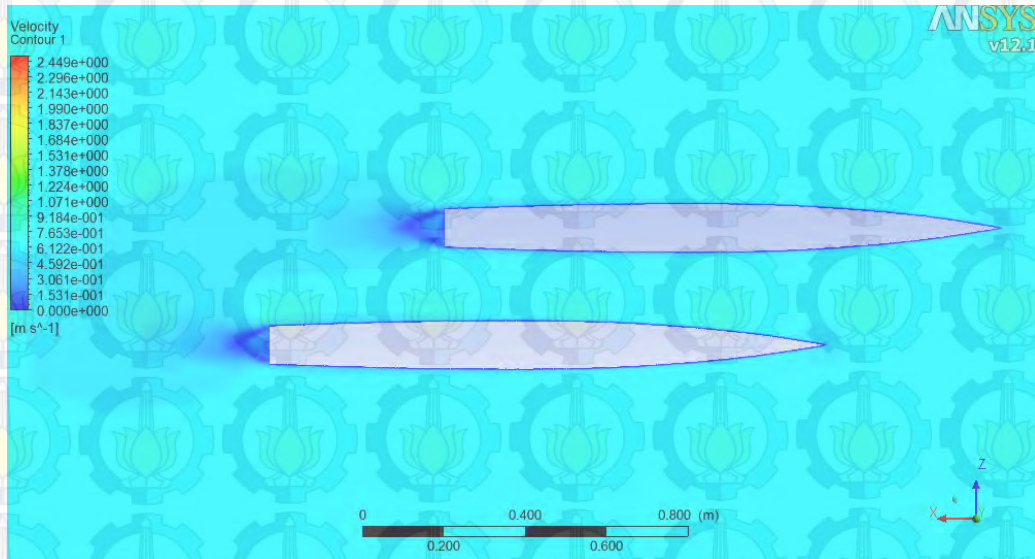
Visualisasi Kecepatan



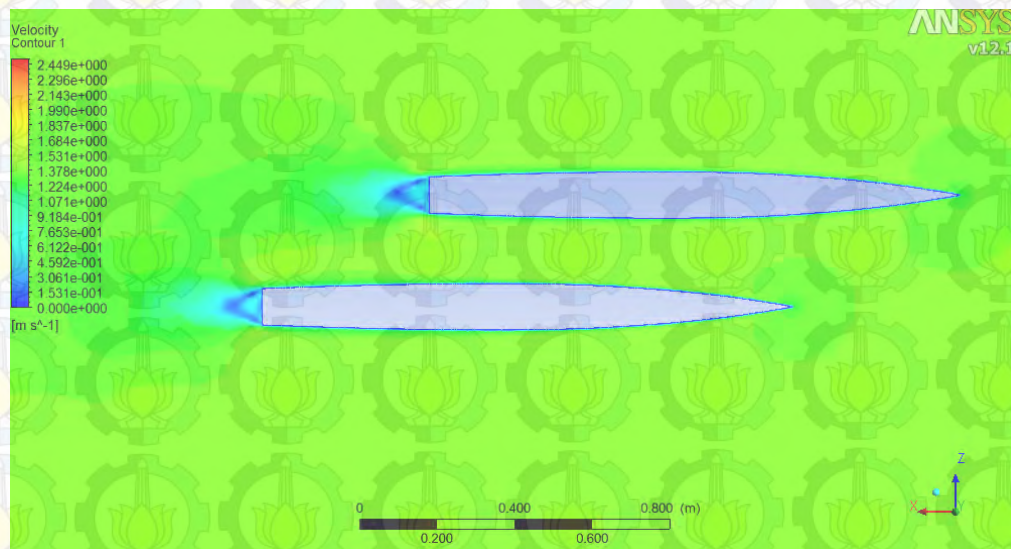
Visualisasi Tekanan

Staggered Catamaran S/L= 0.2 R/L= 0.3

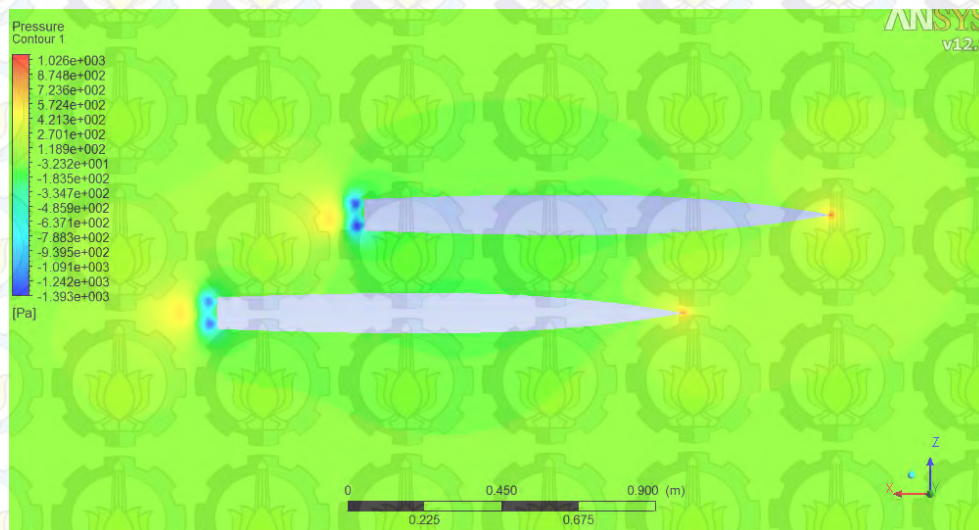
Fr= 0.19



Fr= 0.46

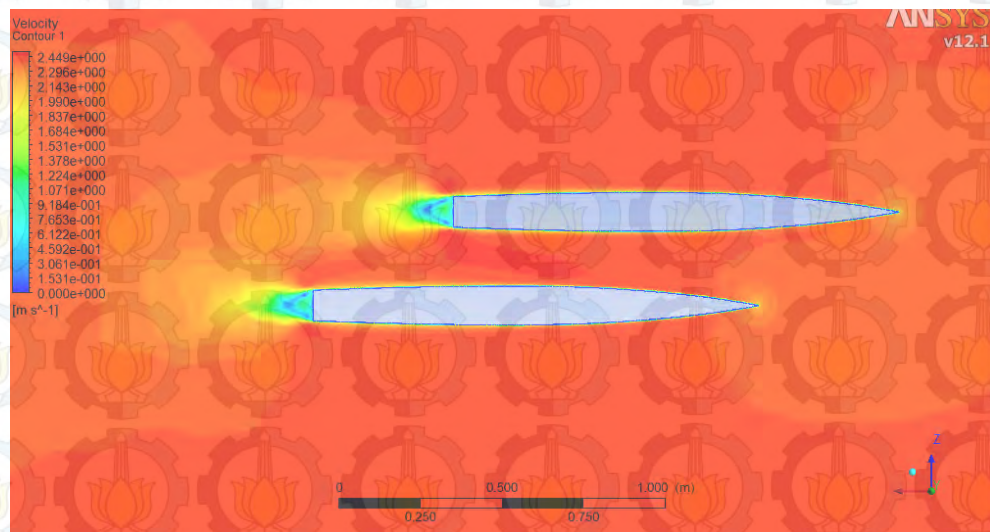


Visualisasi Kecepatan

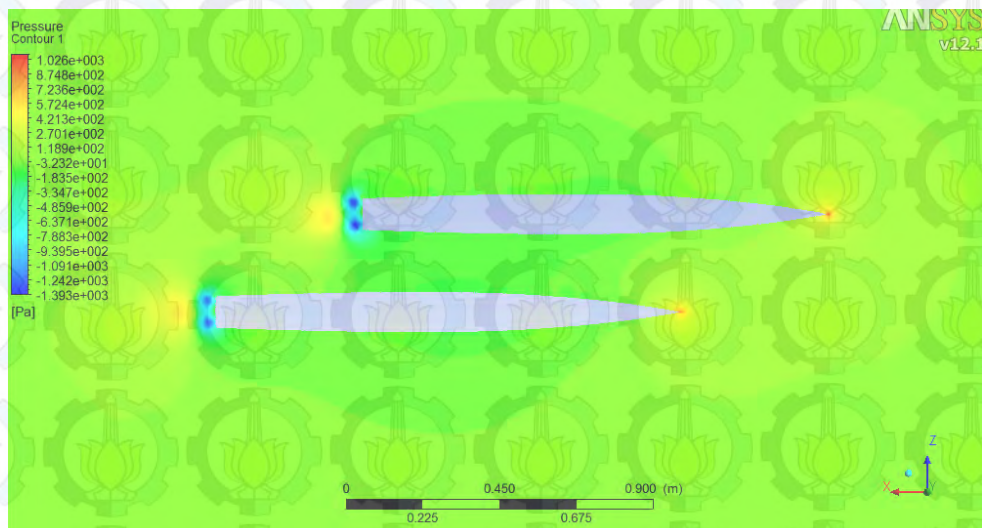


Visualisasi Tekanan

Fr= 0.65



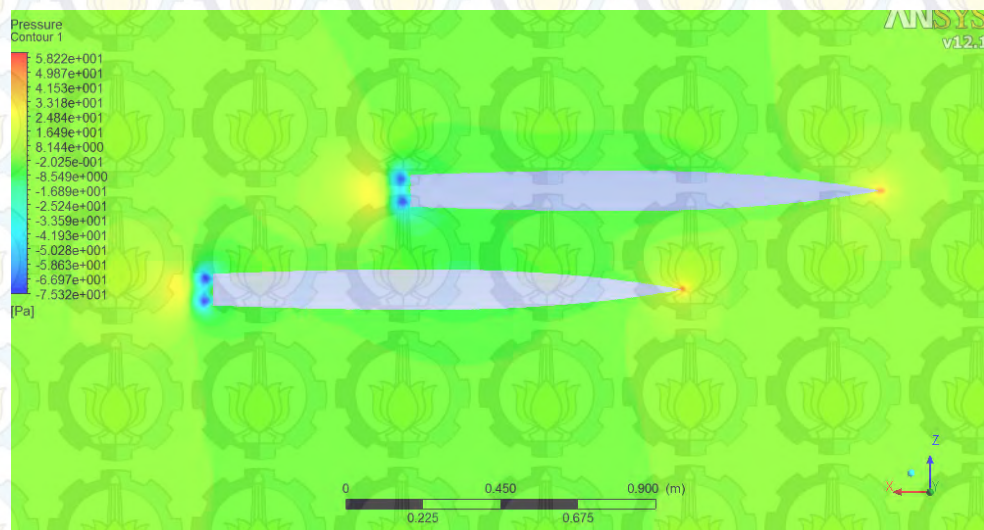
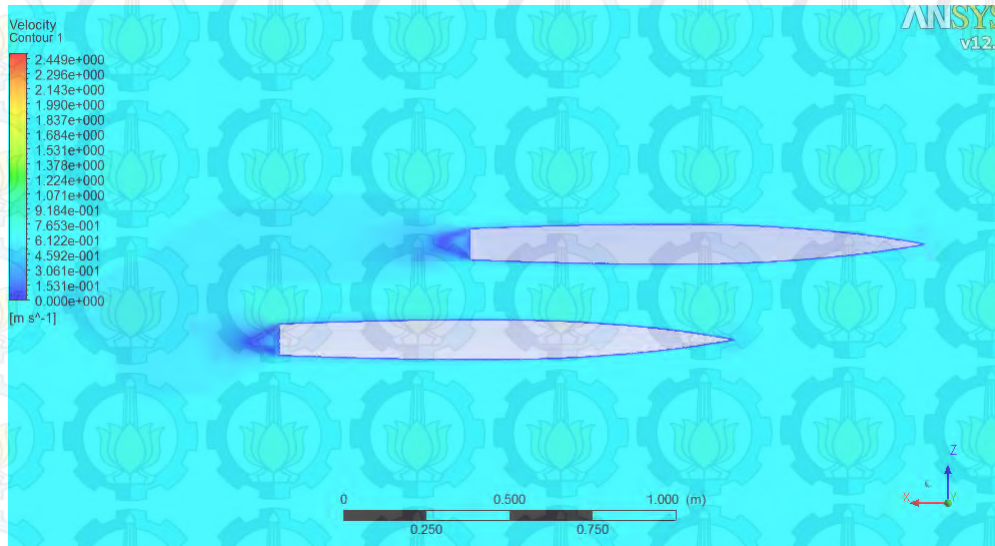
Visualisasi Kecepatan



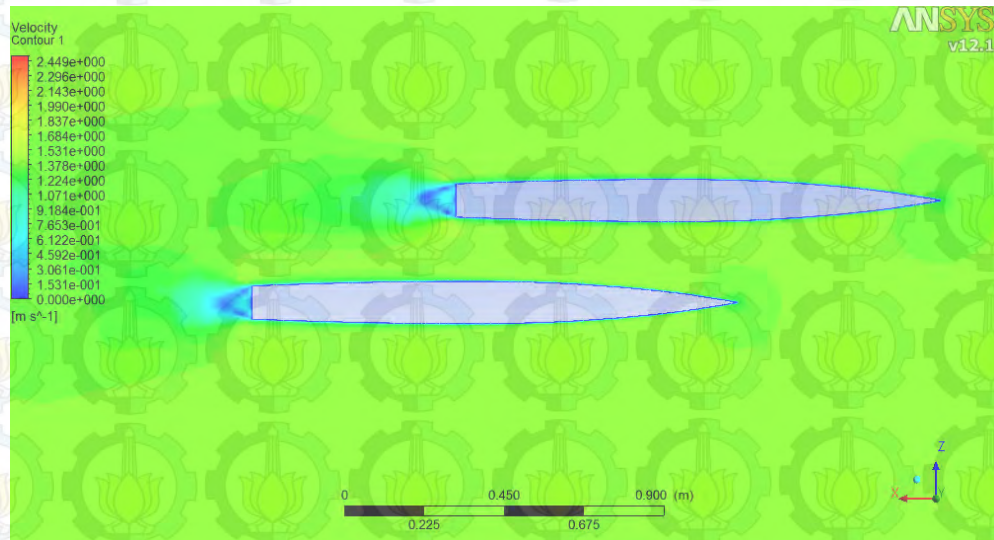
Visualisasi Tekanan

Staggered Catamaran S/L= 0.2 R/L= 0.4

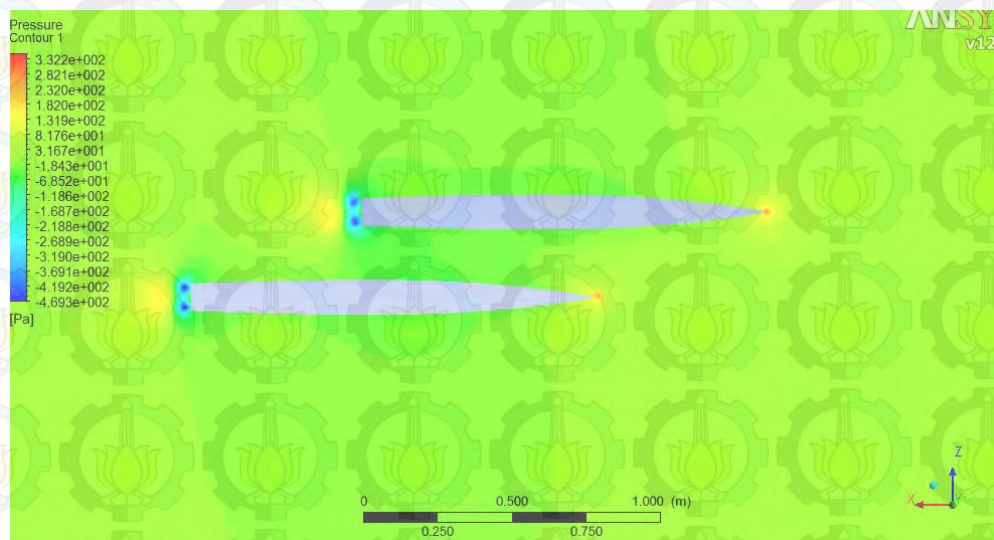
Fr= 0.19



Fr= 0.46

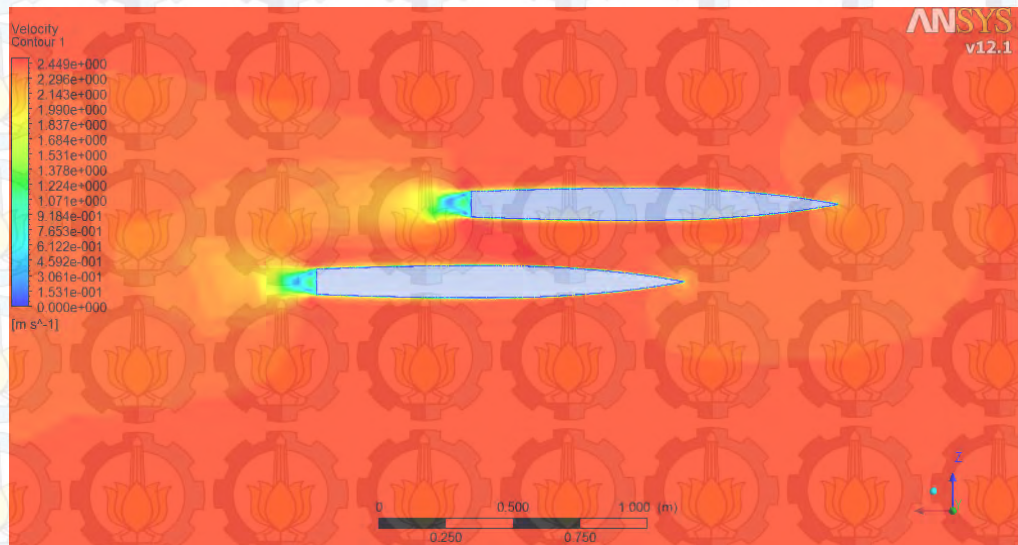


Visualisasi Kecepatan

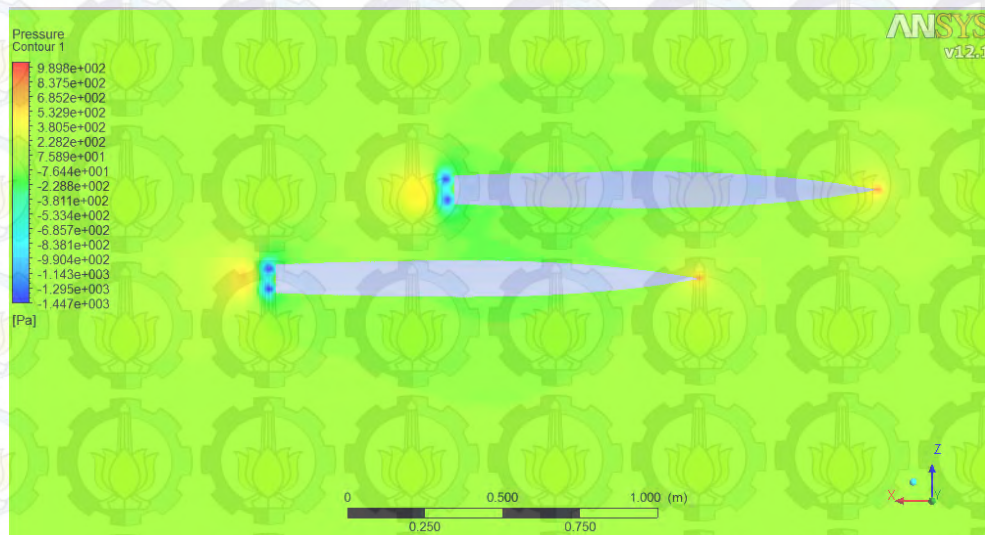


Visualisasi Tekanan

Fr= 0.65



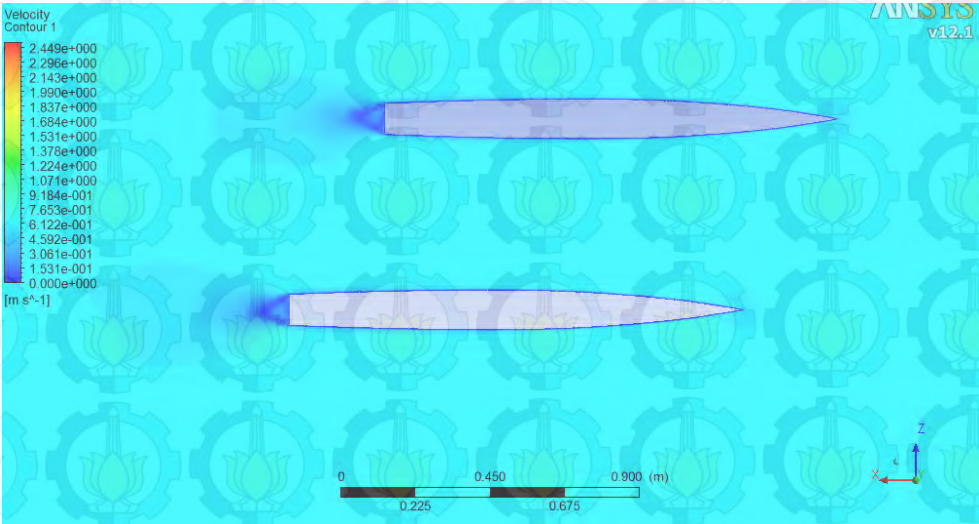
Visualisasi Kecepatan



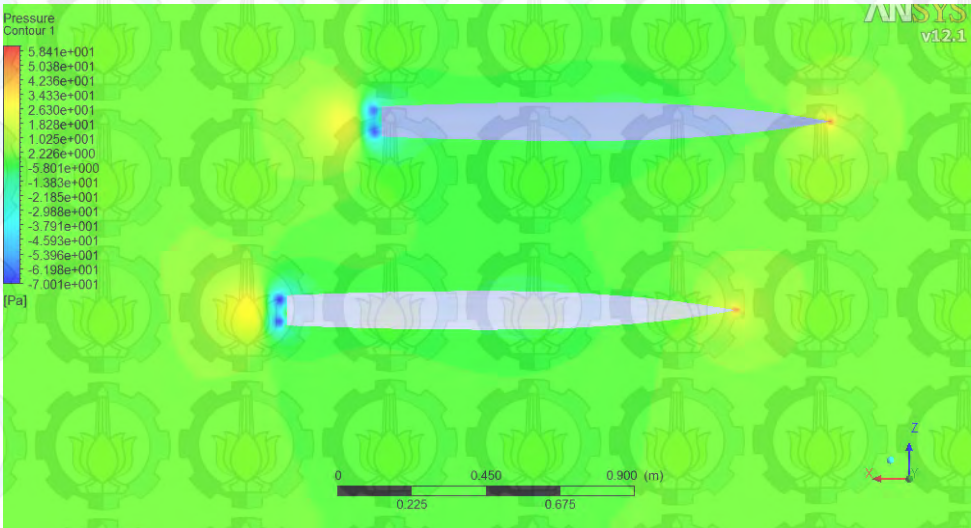
Visualisasi Tekanan

Staggered Catamaran S/L= 0.4 R/L= 0.2

Fr= 0.19

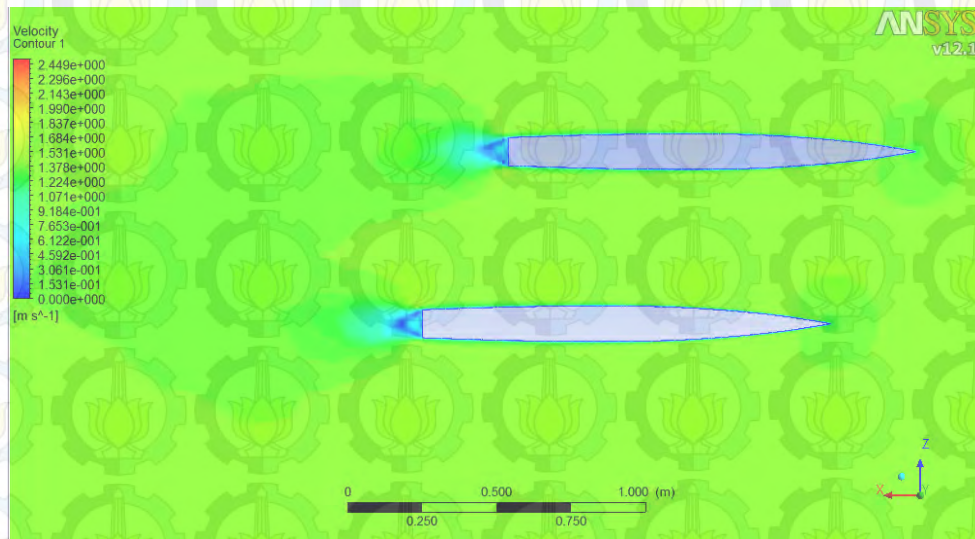


Visualisasi Kecepatan

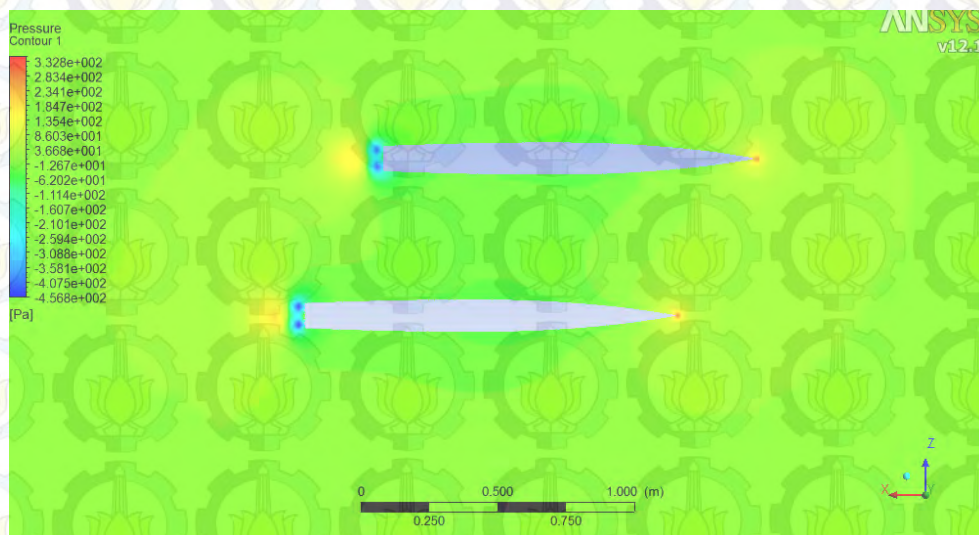


Visualisasi Tekanan

Fr= 0.46

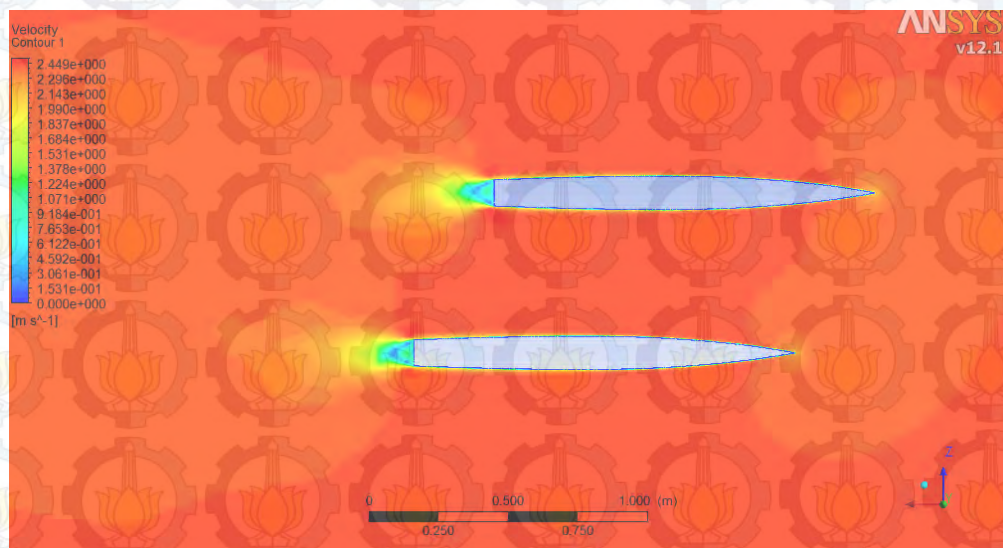


Visualisasi Kecepatan

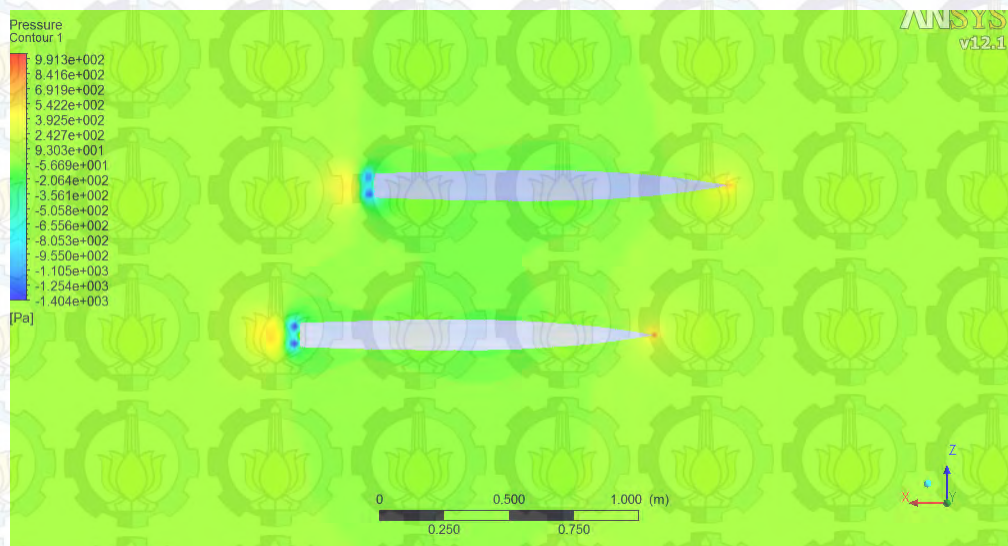


Visualisasi Tekanan

Fr= 0.65



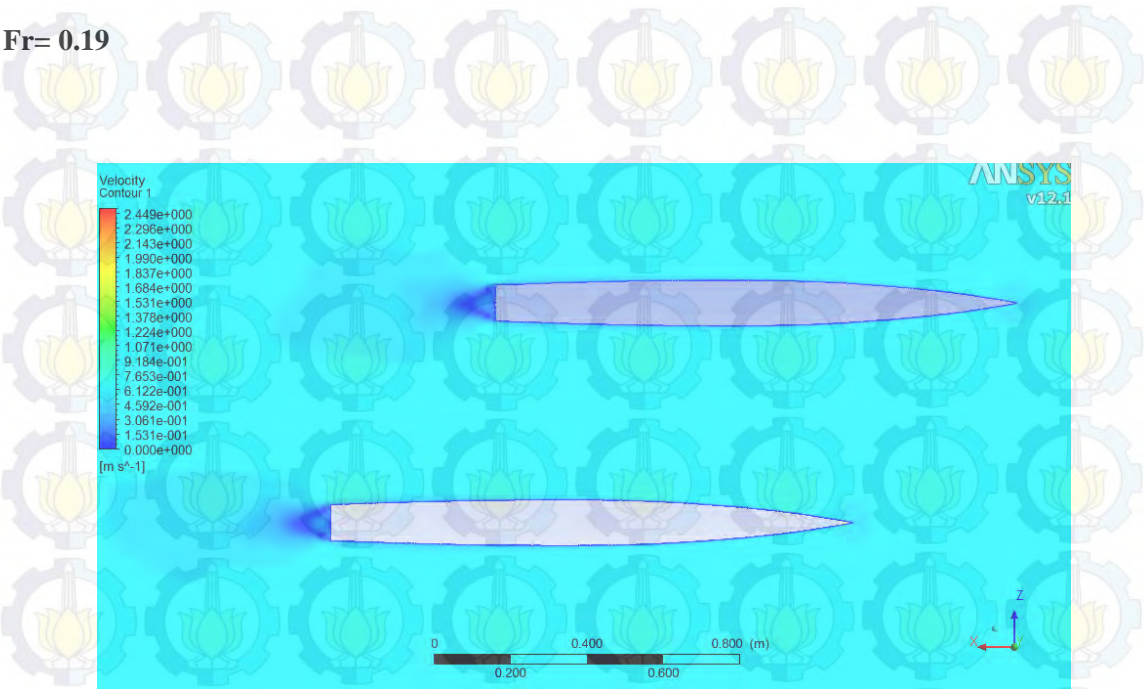
Visualisasi Kecepatan



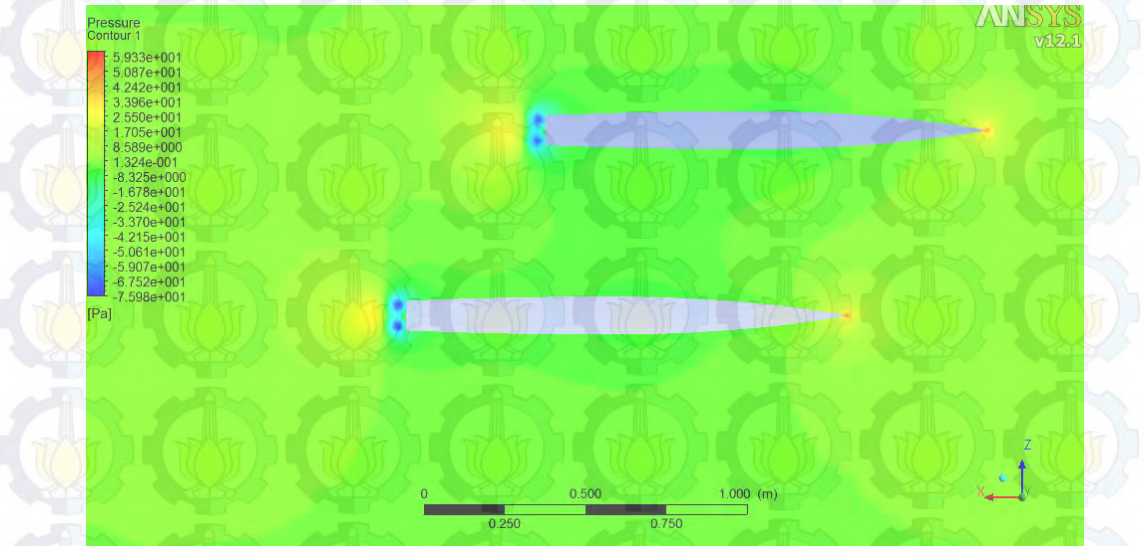
Visualisasi Tekanan

Staggered Catamaran S/L= 0.4 R/L= 0.3

Fr= 0.19

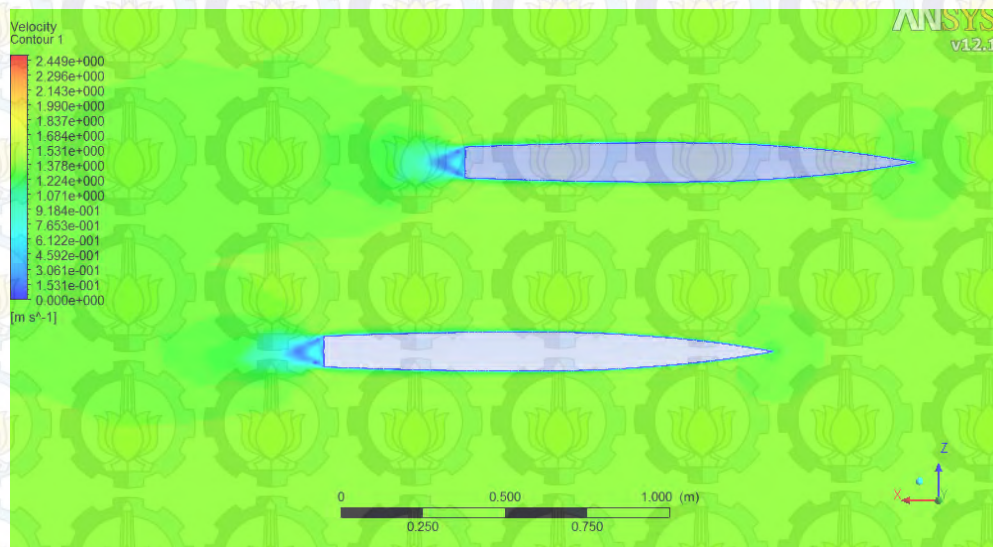


Visualisasi Kecepatan

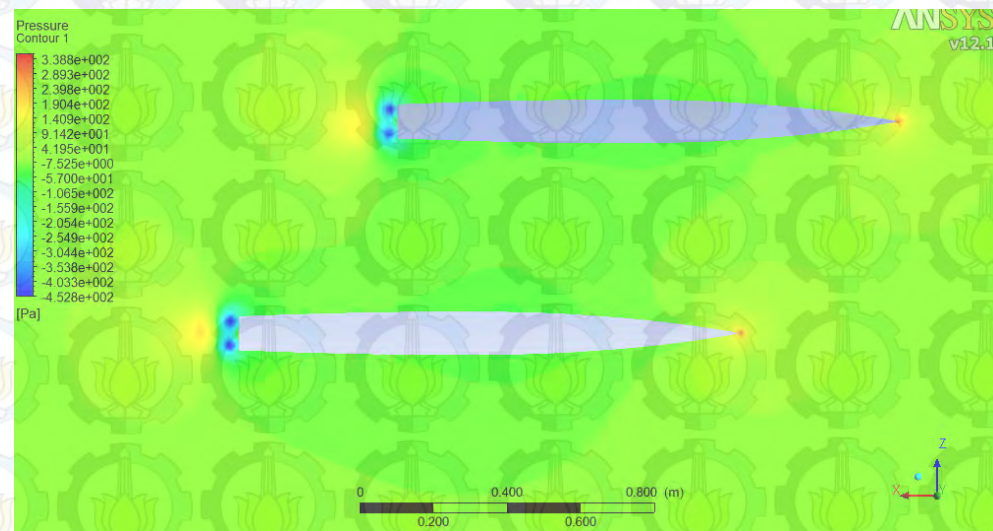


Visualisasi Tekanan

Fr= 0.46



Visualisasi Kecepatan

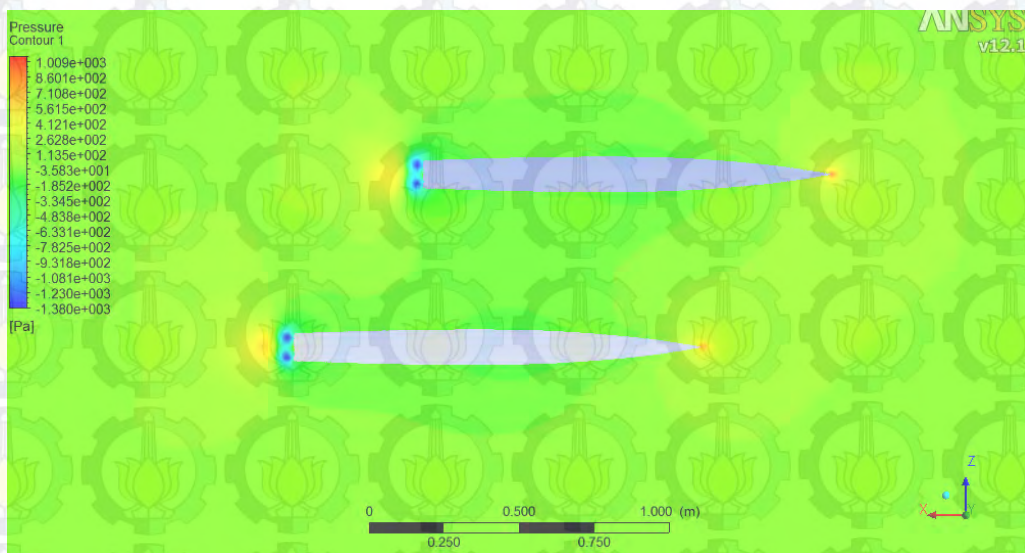


Visualisasi Tekanan

Fr= 0.65



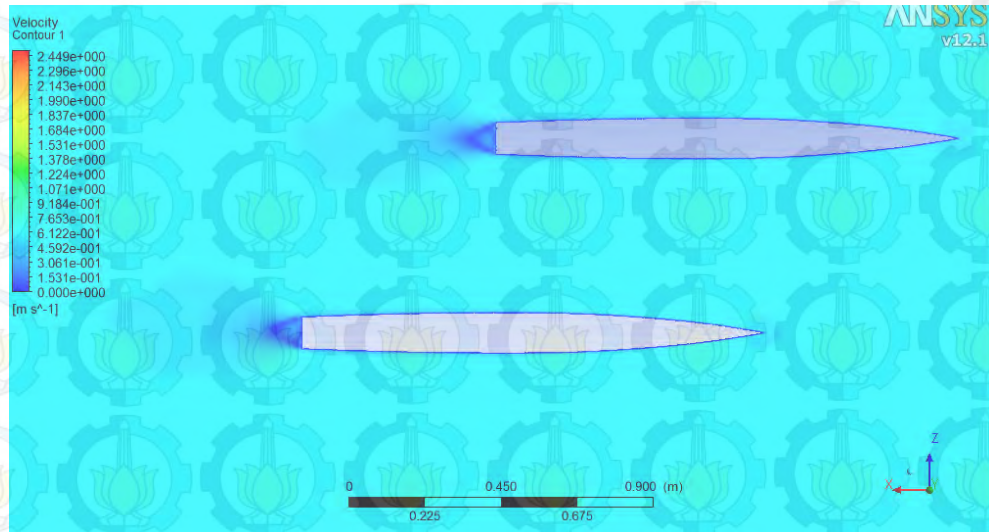
Visualisasi Kecepatan



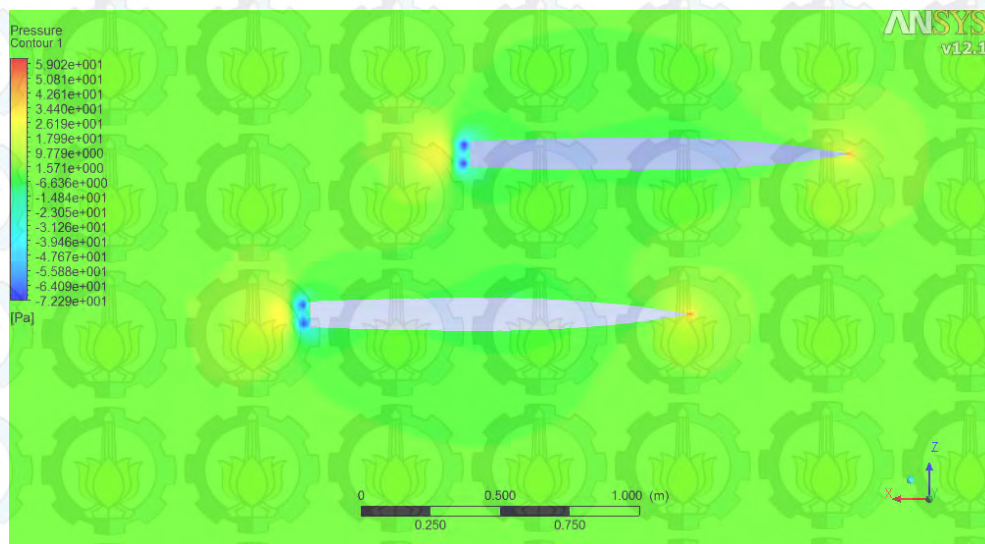
Visualisasi Tekanan

Staggered Catamaran S/L= 0.4 R/L= 0.4

Fr= 0.19

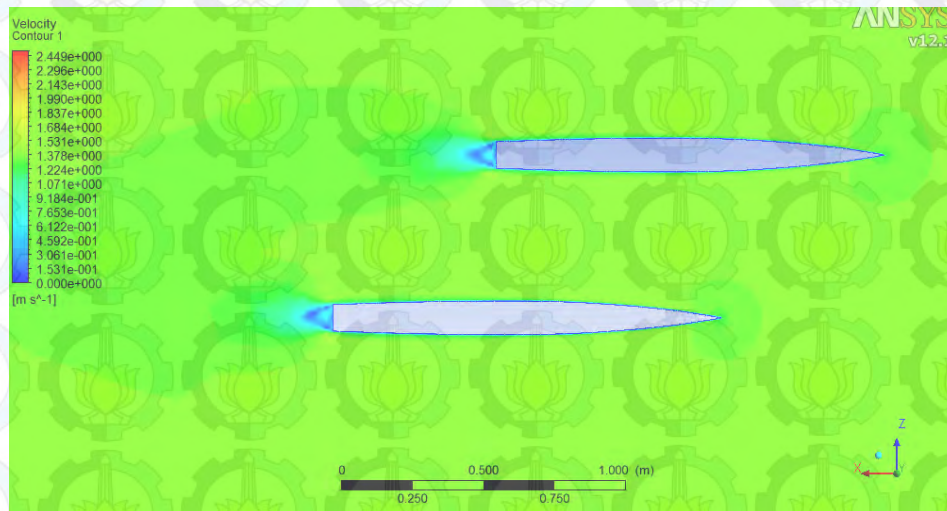


Visualisasi Kecepatan

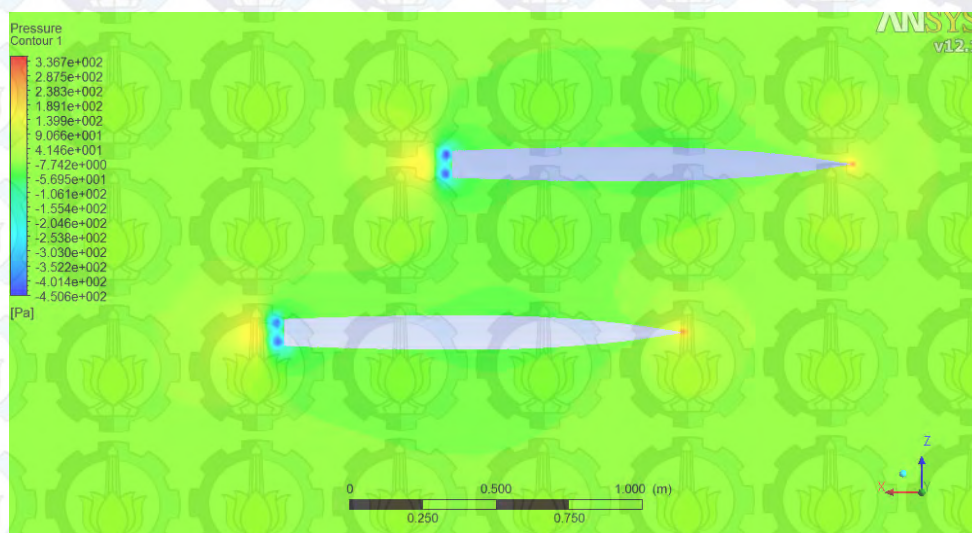


Visualisasi Tekanan

Fr= 0.46

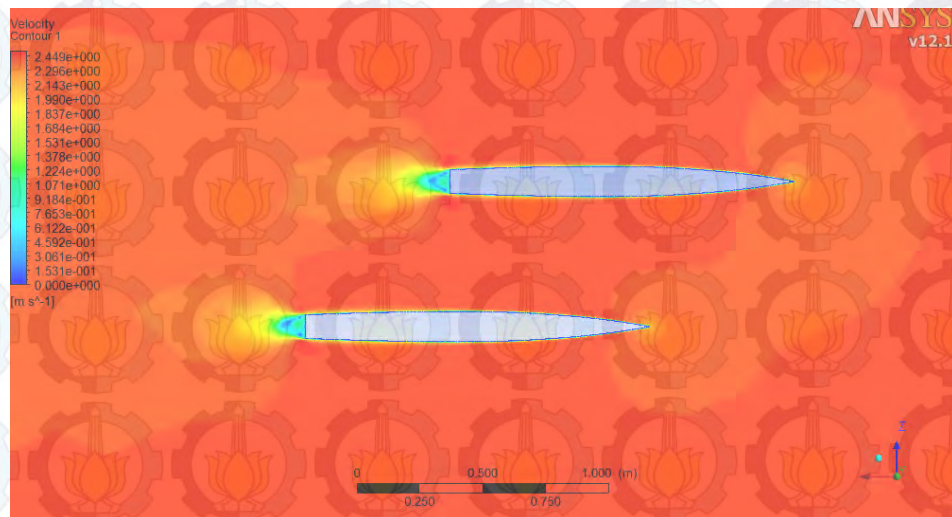


Visualisasi Kecepatan

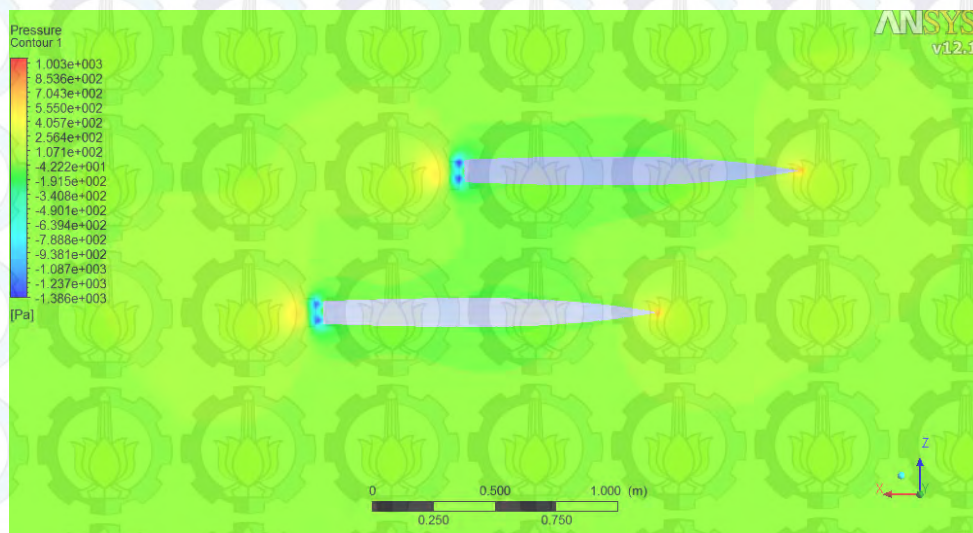


Visualisasi Tekanan

Fr= 0.65



Visualisasi Kecepatan



Visualisasi Tekanan

LAMPIRAN B

DATA HASIL EKSPERIMEN DI TOWING TANK

Data-data di bawah ini merupakan data hasil eksperimen hasil uji di towing tank yang dilakukan oleh Jamaluddin (2012). Data ini menjadi acuan untuk validasi hasil simulasi CFD. Perbedaan hambatan viskos (C_v) hasil uji eksperimen dan simulasi CFD rata-rata adalah 3%, yang cukup baik untuk membuktikan hasil simulasi CFD.

Demihull

V (m/s)	R _T (N)	Fr	Re	C _T	C _F	C _v	C _w
0.687629	0.4197701	0.187431	1.09E+06	0.006938	0.004599	0.005873	0.001065
1.029754	1.0033300	0.280687	1.64E+06	0.007394	0.004224	0.005394	0.002000
1.372355	2.0977101	0.374072	2.18E+06	0.008704	0.003985	0.005088	0.003616
1.715297	4.3175942	0.46755	2.72E+06	0.011468	0.003813	0.004869	0.006599
2.057980	6.0953377	0.560957	3.27E+06	0.011247	0.00368	0.004699	0.006547
2.400117	7.1163229	0.654216	3.81E+06	0.009654	0.003574	0.004563	0.005091

Staggered Catamaran S/L= 0.2, R/L= 0.2

V (m/s)	R _T (N)	Fr	Re	C _T	C _F	C _v	C _w
0.686992	0.902416	0.187258	1.09E+06	0.007346	0.00460	0.006578	0.000768
1.030437	2.245646	0.280873	1.64E+06	0.008125	0.004224	0.006040	0.002085
1.374004	4.565694	0.374521	2.18E+06	0.009291	0.003984	0.005697	0.003594
1.713941	8.970857	0.467180	2.72E+06	0.011732	0.003813	0.005453	0.006279
2.059641	11.89604	0.561410	3.27E+06	0.010773	0.00368	0.005262	0.005511
2.402203	13.38383	0.654784	3.82E+06	0.008910	0.003573	0.005109	0.003801

Staggered Catamaran S/L= 0.2, R/L= 0.3

V (m/s)	R _T (N)	Fr	Re	C _T	C _F	C _v	C _w
0.687797	0.947109	0.187477	1.09E+06	0.007691	0.004599	0.006576	0.001115
1.030219	2.448776	0.280813	1.64E+06	0.008864	0.004224	0.006040	0.002824
1.374336	4.386650	0.374612	2.18E+06	0.008922	0.003984	0.005696	0.003226
1.714898	8.309674	0.467441	2.72E+06	0.010855	0.003813	0.005452	0.005403
2.057223	11.75376	0.560751	3.27E+06	0.010669	0.003680	0.005263	0.005406
2.401961	13.62104	0.654718	3.82E+06	0.009070	0.003573	0.005109	0.003960

Staggered Catamaran S/L= 0.2, R/L= 0.4

V (m/s)	R_T (N)	Fr	Re	C_T	C_F	C_V	C_W
0.688125	0.975165	0.187567	1.09E+06	0.007912	0.004598	0.006575	0.001336
1.030539	2.654878	0.280901	1.64E+06	0.009604	0.004223	0.006040	0.003564
1.374195	4.664761	0.374573	2.18E+06	0.009490	0.003984	0.005697	0.003793
1.716090	7.598525	0.467766	2.73E+06	0.009912	0.003812	0.005451	0.004461
2.059781	11.70495	0.561448	3.27E+06	0.010599	0.003679	0.005262	0.005337
2.409551	13.87638	0.656787	3.83E+06	0.009182	0.003571	0.005106	0.004075

Staggered Catamaran S/L= 0.4, R/L= 0.2

V (m/s)	R_T (N)	Fr	Re	C_T	C_F	C_V	C_W
0.688732	0.850252	0.187732	1.09E+06	0.006886	0.004597	0.006574	0.000312
1.031299	2.078559	0.281108	1.64E+06	0.007508	0.004223	0.006039	0.001469
1.374974	4.722476	0.374786	2.18E+06	0.009596	0.003983	0.005696	0.003900
1.718193	8.307133	0.468339	2.73E+06	0.01081	0.003811	0.005450	0.005360
2.061727	10.95234	0.561978	3.27E+06	0.009898	0.003679	0.005261	0.004638
2.404370	12.46825	0.655375	3.82E+06	0.008286	0.003572	0.005109	0.003177

Staggered Catamaran S/L= 0.4, R/L= 0.3

V (m/s)	R_T (N)	Fr	Re	C_T	C_F	C_V	C_W
0.687924	0.849398	0.187512	1.09E+06	0.006895	0.004599	0.006576	0.000319
1.031737	2.098096	0.281227	1.64E+06	0.007572	0.004222	0.006038	0.001534
1.374081	4.618020	0.374542	2.18E+06	0.009396	0.003984	0.005697	0.003700
1.720113	7.884292	0.468862	2.73E+06	0.010237	0.003810	0.005449	0.004788
2.050664	10.75794	0.558963	3.26E+06	0.009828	0.003683	0.005266	0.004562
2.401512	12.49825	0.654596	3.81E+06	0.008325	0.003573	0.005110	0.003216

Staggered Catamaran S/L= 0.4, R/L= 0.4

V (m/s)	R_T (N)	Fr	Re	C_T	C_F	C_V	C_w
0.688281	0.848905	0.187609	1.09E+06	0.006884	0.004598	0.006571	0.000314
1.031281	2.102425	0.281103	1.64E+06	0.007594	0.004223	0.006034	0.001560
1.374043	4.514831	0.374532	2.18E+06	0.009187	0.003984	0.005693	0.003494
1.719180	7.517875	0.468608	2.73E+06	0.009772	0.003811	0.005446	0.004326
2.053246	11.06071	0.559667	3.26E+06	0.010079	0.003682	0.005261	0.004818
2.395617	12.89721	0.652989	3.81E+06	0.008633	0.003575	0.005108	0.003525

BIODATA PENULIS



Nama : Doddy Hermanto
Tempat, tanggal lahir : Cilegon, 05 Juni 1988
Agama : Islam
Alamat Asal : Perum GSI Blok il no.6,
Desa Harjatani,
kec.Kramatwatu,
Serang - Banten
Alamat Surabaya : Perum. ITS Blok D - 4
Email : doddyhermanto@yahoo.com
No. HP : 0817324393

Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara dari keluarga pasangan K.Sarimun dan Yuni Suyatni. Penulis dilahirkan dalam keluarga yang penuh dengan keharmonisan dan kesederhanaan. Senantiasa diajarkan orangtua untuk selalu taat beribadah, berbuat baik kepada sesama, jujur, pantang menyerah dalam kondisi apapun dan melakukan segala hal dengan sungguh-sungguh dan sebaik-baiknya.

Penulis menempuh pendidikan formal di SD YPWKS Cilegon, kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Cilegon, dan SMAN 1 Cilegon. Kemudian memutuskan untuk melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dan terdaftar dalam jurusan yang memperoleh predikat terbaik dalam bidang kemaritiman di Indonesia yaitu Jurusan Teknik perkapalan FTK-ITS. Selama menempuh pendidikan di ITS, penulis aktif dalam berbagai kepanitiaan kegiatan seperti SAMPAN 2 dan 3 ITS, dan kegiatan organisasi sebagai penanggung jawab jurnal HIMATEKPAL ITS. Semua itu dilakukan untuk menambah ilmu dan pengalaman tentang mengatur waktu, kegiatan dan bekerja dalam tim dengan tetap fokus dalam menjalani seluruh kegiatan akademik yang ada di jurusan.